

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Puutekniikka

Kokko Matti

BOORIPOHJAISEN KYLLÄSTYSAINEEEN HUUHTOUTUMISEN TUTKIMINEN

2010

## ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on tehty osana Kymenlaakson ammattikorkeakoulun puutekniikan opintojani. Opinnäytetyöhön liittyvät kokeelliset tutkimukset suoritettiin alkuvuodesta 2010 Kymenlaakson ammattikorkeakoulun puutekniikan laboratoriossa, jossa testattiin Kemiran kehittämää kyllästysainetta.

Suuret kiitokset Kymenlaakson ammattikorkeakoulun tutkimusjohtajalle Hannu Borenille työn ohjauksesta, sekä suuret kiitokset puutekniikan laboratorion henkilökunnan Erkki Reimanille, Risto Jetsoselle, Risto Launiaiselle sekä Tuomo Väärälle yhteistyöstä ja suuresta avusta tutkimuksen suorittamisessa. Kiitän myös Kemira Oyj:tä tämän insinöörityön mahdollistamisesta sekä Risto Rahkolaa yhteistyöstä ja avusta työn aikana.

Haluan myös kiittää Mia Eerolaa sekä perhettäni kannustuksesta ja tukemisesta opiskelujeni aikana.

Kotka 20. Syyskuuta 2010

Matti Kokko

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

#### Puutekniikka

KOKKO MATTI Booripohjaisen kyllästysaineen huuhtoutumisen tutkiminen

Insinöörityö 46 sivua + 16 liitesivua

Työn ohjaaja (t) Tutkimusjohtaja Hannu Boren, Tuomo Väärä

Toimeksiantaja Kymenlaakson ammattikorkeakoulu

Toukokuu 2010

Avainsanat boori, puunsuoja-aine, kyllästys, huuhtoutuminen

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää uuden booripitoisen kyllästysaineen puussa pysyminen ja ulkonäkö kyllästyksen sekä sääkaappikokeen aikana. Kokeesta saatujen tietojen perusteella selvitetään, onko boori pysynyt puussa kyllästyksen, sääkaappikokeen ja EN 84 huuhtoumakokeen aikana sekä onko aineella teknis-taloudellisia edellytyksiä.

Kyllästetyistä laudoista otettiin koepalat prosessin eri vaiheissa ja sääkaappikokeen aikana. Kokeessa käytetty materiaali oli samasta sahatavaraerästä ja se sisälsi mahdollisimman vähän sydänpuuta.

Kyllästyksessä saavutetut tulokset olivat hyvät. Kyllästyksellä saavutettiin uusiseelantilaisia standardeja parempi kyllästysainepitoisuus. Kokeessa saavutettiin kyllästysaineen pitoisuudeksi kyllästyksen jälkeen 5,38 % -BAE ja sääkaappikokeen jälkeen pitoisuus oli 4,75 % -BAE. Huuhtoutuminen oli vähäistä sääkaappikokeen aikana, mutta EN 84 -kokeessa boori ei pysynyt. Alkuperäisestä 7,69 g/kg pitoisuudesta puuhun jäi vain 0,41 g/kg.

Sääkaapin jälkeen koekappaleet olivat tummuneet hieman enemmän kuin kyllästämättömät ja oksista tuli enemmän pihkaa kuin kyllästämättömistä.

Kustannuksiltaan 0,8 % -BAE -arvon saavuttaminen, joka vaaditaan AB-luokkaan Uudessa-Seelannissa on edullista verrattuna kuparikyllästeisiin. A-luokan kyllästeenä boorikylläste on kuparikyllästeitä kalliimpi.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Wood Technology

KOKKO, MATTI                      Boron based Wood Preservative Leaching Test.

Bachelor`s Thesis                      46 pages + 16 pages of appendices

Supervisor                              Hannu Boren DSc , MSc Tuomo Väärä

Commisioned by                      Kymenlaakso University of Applied Sciences

May 2010

Keywords                              boron, boric acid, preservative, impregnation, leaching

This thesis aims to study boron-based wood preservative. Experiment shows how much boron is leached out from the wood during the impregnation and weather cabinet. Results will show the techno economical possibilities boron-based preservatives. Test samples were taken off planks in different phases of impregnation and weather cabinet.

The test material used was from the same batch of lumber, and it contained as little as possible heartwood.

Preservation results were good compared to New Zealand`s 0,8 % BAE standards of preservatives content. The experiment reached saturation concentration of 5.38% BAE after impregnation and the analysis after weather cabinet was 4.75% BAE. The leaching of analysis was low during the weather cabinet. In EN 84 test boron did not stay and it was leached. Boron concentration after the test was 0.41 g/kg from the original 7.69 g/kg.

After weather cabinet the impregnated samples were slightly darker than not impregnated. Also knots in impregnated samples were darker. The cost of the value of 0.8% -BAE-achievement, which is required for AB-class in New Zealand, is low compared to copper-based preservatives. Boron based A-class preservative is more expensive than copper-based preservative.

## ESIPUHE

## TIIVISTELMÄ

## SISÄLLYS

1	OPINNÄYTETYÖN TAUSTAA JA TAVOITTEET .....	7
2	KYLLÄSTYS .....	9
2.1	Miksi kyllästetään .....	9
2.2	Lahonsuoja-aineelta vaadittavia ominaisuuksia .....	9
3	PAINEKYLLÄSTYS .....	10
3.1	Painekyllästysprosessi.....	12
3.2	Kyllästysmenetelmiä.....	13
3.2.1	Bethell .....	13
3.2.2	Rüping.....	14
3.2.3	Diffuusiomenetelmä.....	14
3.2.4	Jälkikyllästys, ruiskutus, sively ja boorisauvat .....	15
3.2.5	Liotusmenetelmä.....	16
4	BOORI .....	16
4.1	Boori ja sen käyttö .....	16
4.2	Boorihappo.....	16
4.3	Booraksi .....	17
4.4	Boraatti.....	17
5	BOORIN KÄYTTÖ KYLLÄSTYKSESSÄ.....	17
5.1	Käyttö suosituksia maailmalla .....	19
5.1.1	Käyttö Suomessa.....	20

6	BOORIKYLLÄSTEIDEN HÄVITYS KÄYTÖN JÄLKEEN .....	21
7	KEMIRA .....	22
8	BOORIN SITOMISEEN KÄYTETTYJÄ MENETELMIÄ JA AINEITA.....	22
8.1	Pintakäsittely.....	22
8.2	Kaksinkertainen käsittely .....	23
8.3	Puu täyteaineena ja hartsikäsittely .....	23
8.4	Orgaaniset booriyhdisteet (OBC) .....	24
8.5	Orgaaniset boorisuolat .....	24
8.6	Yhdistelmä torjunta-aineita ja epäorgaanisia lisäaineita.....	24
8.7	Epäorgaaniset metallit ja booriyhdisteet (metalliboorit).....	25
8.8	Ammonium- ja amiini metalliorgaaniset boraatit .....	26
8.9	Vakaat booriyhdisteet ja toiset yhdistelmät .....	27
8.10	Höyryboorikäsittely (VBT) orgaanisilla booriyhdisteillä ja boorihapolla.....	28
8.11	Polymerointi.....	29
8.12	Proteiini ja tanniini sitominen .....	29
8.13	Puun fyysisten olosuhteiden muuttaminen .....	30
8.14	Boori-silikoniyhdisteet.....	30
8.15	Boori lisäaineena muissa yhdisteissä .....	30
8.16	Boorihapon ja mäntyöljyn seos.....	31
9	KOKEELLINEN OSA.....	31
9.1	Koemateriaalin valmistus.....	32
9.2	Kyllästysaine.....	32
9.3	Painekyllästys .....	33

9.4	EN 84 .....	33
9.5	Sääkaappikoe .....	33
10	TULOKSET .....	36
10.1	Booripitoisuus .....	36
10.1.1	Booripitoisuus EN 84 huuhtoumakokeen jälkeen.....	36
10.1.2	Booripitoisuus sääkaappikokeen eri vaiheissa .....	36
10.2	TBA-kyllästeen kustannuksia .....	38
10.3	Kappaleiden massa- ja ulkonäkömuutokset sääkaappikokeen aikana .....	39
11	TULOSTEN TARKASTELU.....	41
11.1	Pienet erilliset koekappaleet .....	41
11.2	Booripitoisuus .....	41
11.3	Kustannukset.....	42
11.4	Sääkaappi .....	42
12	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	43

## LIITTEET

- Liite 1. Novalab Oy tutkimusraportti N: K 147/10/1-4
- Liite 2. Novalab Oy tutkimusraportti N: K 455/10/1-8
- Liite 3. Opinnäytetyön mittauspöytäkirjat.
- Liite 4. Kuvia sääkaapissa olleista laudoista.

# 1 OPINNÄYTETYÖN TAUSTAA JA TAVOITTEET

Tämä opinnäytetyö on tehty osana Kymenlaakson ammattikorkeakoulun puutekniikan tutkimus- ja kehitystoimintaa eli T&K- toimintaa, jonka yhdeksi painopistealueeksi on valittu puutuotteiden ominaisuuksien parantaminen modernin painekyllästyksen keinoin. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun ja eri yhteistyökumppaneiden tavoitteena on tutkia ja kehittää uusia painekyllästysmenetelmiä, puunsuoja-aineita ja laadunvalvontamenetelmiä, joilla voidaan luotettavasti parantaa puurakenteiden (mm. talojen, siltojen, veneiden, johdinpylväiden, pihakalusteiden ja leikkikenttävälineiden) lahon-, hyönteisten-, sään ja palonkestävyyttä. Tutkimuksissa huomioidaan myös eri tuotantomenetelmien taloudellinen kannattavuus ja mahdolliset ympäristövaikutukset.

Tämän opinnäytetyön keskeisin tavoite on selvittää Kemiran uuden booripohjaisen kyllästysaineen laudoista huuhtoutuminen ja ulkonäkö sekä se, pystytäänkö kyseisellä kyllästysaineella ja ohjelmalla pääsemään AB-luokan kyllästystulokseen. Työn tuloksena saadaan selville, onko boori huuhtoutunut pois puusta ja minkälaisia muutoksia aineella kyllästetyille laudoille tapahtuu sääkaappikokeen aikana. Tulosten perusteella mietitään myös booripohjaisten tuotteiden markkinamahdollisuudet teknis-taloudellisesta näkökulmasta tarkasteltuna.

Perinteisessä painekyllästyksessä on viimeiset 50 vuotta käytetty lähinnä vain kahta kyllästysainetta, kreosoottia ja CCA -kyllästettä. Kreosoottia käytetään ratapölkyissä sekä pylväissä ja CCA -kyllästettä (kupari, kromi ja arseeni) sahatavarassa sekä pylväissä. Molemmat kyllästysaineet ovat olleet edullisia ja tehokkaita, mutta samalla ne ovat ihmisen terveydelle haitallisia. (1,13.)



Vuonna 2002 Suomessa astui voimaan laki, joka määräsi kyllästetyn puun luokitettavaksi ongelmajätteeksi. Tämä merkitsee, että kaikki käsitelty puutavara mm. sähköpylväät ja terassilaudat ovat olleet siitä lähtien ongelmajätettä, ja ne tulee hävittää ongelmajätteille asetettujen asetusten mukaisesti.

Suomessa on perinteisesti noudatettu EU-direktiivejä säätämällä kansalliset lait ja asetukset niiden mukaisiksi. Euroopan unionin arseenidirektiivi 2003/02/EY ja biosididirektiivi 98/8/EY tuli kuitenkin sellaisenaan voimaan. Direktiivien perusteluina mainittiin aineiden tuomat terveysvaarat ja niiden tuomat haitat ympäristölle. Direktiiveissä huomautettiin, että haitattomampia vaihtoehtoja on saatavilla ja tarjolla. Kreosoottidirektiivissä 2001/90/EY rajoitettiin kreosootin käyttö pelkästään ratapölkkyihin ja pylväisiin. Uusien direktiivien ansiosta CCA kyllästetyn puun käyttö loppui Suomessa ja Eu:n alueella 1.9.2006. (1,13.)

Uudet direktiivit ovatkin johtaneet siihen, että vanhat kyllästysaineet ovat korvautuneet uusilla aineilla ja menetelmillä, jotka ovat vähemmän rasttavat ympäristöä vähemmän. Uusissa kyllästysmenetelmissä ja aineissa korostuu ympäristönsuojelu ja aineiden vaarallisuuden vähentäminen. Toisaalta pelätään, miten uudet menetelmät ja aineet toimivat sekä mille hintatasolle uudet kyllästysmenetelmät asettavat kyllästetyn puutavaran verrattuna vanhoihin menetelmiin.

Tärkeimpiä tekijöitä tulevaisuuden puunsuojauksessa ovat kyllästetyn puun ja käytettyjen kyllästysmenetelmien ympäristöystävällisyys ja turvallisuus. Käsitellyn sahatavaran tulisi olla helposti ja vaivattomasti hävitettävä niin lyhyellä kuin pitkällä aikavälillä. Tulevaisuuden kyllästysaineen tulee olla myös kilpailukykyinen hinnaltaan, jotta tuotteen lopullinen hinta ei muodostu liian korkeaksi asiakkaalle. Tärkeää olisi myös se, että tuote olisi tehokkaampi lahon, homeen ja hyönteisten suojauksessa. Tuotteen on oltava ulkonäöltään kilpailukykyinen sekä kestävä sään ja kosteuden aiheuttamia rasituksia vastaan.

Boorin käyttöä on tutkittu viimeisen kahden vuosikymmenen aikana sen luontoystävällisten piirteiden ja sen tehokkuuden vuoksi. Epäorgaaniset boorit antavat hyvän suojan maanpinnan yläpuolella oleville rakenteille. Kuitenkaan tehokasta ratkaisua matalaliukoiselle boorille ei ole saatu puusta huuhtoutumisen estämiseksi. Boorin käyttöä puoltavat sen luontoystävällisyys ja laaja-alainen tehokkuus puun suojauksessa. (2,7312 - 7322.)

## **2 KYLLÄSTYS**

### **2.1 Miksi kyllästetään**

Olosuhteissa, joissa on lämpöä, kosteutta ja happea, kyllästämätön puu ei kestä. Se alkaa lahota ja siihen tulee homeita sekä sinistymää. Kyllästämättömän puun biologinen tuhoutuminen alkaa kosteuden ollessa 18 %. Sateelle alttiissa olosuhteissa kosteus nousee helposti 20 %:iin ja maakosketuksessa 30 %:iin. Olosuhteet asettavat kosteassa ilmassa olevat puurakenteet erittäin kovalle rasitukselle. (3,1.)

Käsitlemätöntä puuta uhkaavat sinistyminen, home ja laho. Kyllästäminen on ainoa tapa estää puun biologinen hajoaminen. Kyllästys suojaa puuta kosteudelta, estää kosteuden imeytymisen ja näin ehkäisee puun lahoamisen ja homehtumisen. (3,1.)

### **2.2 Lahonsuoja-aineelta vaadittavia ominaisuuksia**

Puun lahonsuoja-aineelta vaadittavat ominaisuudet ovat olleet samanlaiset jo vuosikymmenet. Nykyään myrkylliset ominaisuudet pyritään korvaamaan vedenläpäisyneestolla, jolloin suoja-aineen huuhtoutuminen puusta vähenee. Seuraavassa on listattu kyllästetyltä puulta vaadittavia ominaisuuksia. (4,75.)

1. Sen tulee olla tehokas sieni- ja hyönteismyrkky, joka pystyy ehkäisemään kaikkien puuta tuhoavien eliöiden toiminnan.
2. Sen tulee olla vaaratonta ihmisille, kotieläimille ja viljelyskasveille.
3. Sen tulee tunkeutua helposti puuhun, jotta se voidaan mahdollisimman yksinkertaisesti ja nopeasti saada tunkeutumaan riittävän syvälle puuhun kyllästämään koko laholle altis osa.

4. Sen tulee pysyä puussa tehoaan menettämättä vuosia vaikeissakin olosuhteissa. Se ei saa haihtua eikä liueta puusta eikä muuttua kemiallisesti tehottomiksi yhdisteiksi.
5. Se ei saa syövyttää metalleja, jotka joutuvat kosketuksiin kyllästetyn puun kanssa tai joita käytetään kyllästyslaitteissa.
6. Se ei saa heikentää puun mekaanisia ominaisuuksia.
7. Se ei saa lisätä puun syttyvyyttä, mieluummin päinvastoin, eikä siitä saa kyllästetyn puun palaessa lähteä myrkyllisiä kaasuja.
8. Se ei saa olla pahanhajuinen eikä tahraava, ja sen pitää mahdollisimman vähän muuttaa puun alkuperäistä väriä.
9. Se ei saa estää puun maalausta tai muuta pintakäsittelyä.
10. Sen pitää olla helposti puusta todettavissa myös määrällisesti.
11. Sen tulee olla mahdollisimman halpa ja helposti saatavissa, jotta sen laajamittainen käyttö olisi mahdollista.

On selvä, ettei kaikkia näitä vaatimuksia pystytä täyttämään. Niinpä valitaankin kuhunkin käyttötarkoitukseen tärkeimmät ominaisuudet, ja valitaan näin sopivin kylläste. (4,75.)

### 3 PAINEKYLLÄSTYS

Painekyllästyksen aikana puunsuoja-aine tunkeutuu puuaineeseen syyn-, säteen- ja tangentinsuuntaisesti. Lähteiden mukaan syynsuuntainen tunkeuma puuaineessa on voimakkaampaa, mikä johtuu mm. puuaineen anistrooppisesta rakenteesta. Tästä syystä optimaalisen puunsuojauksen kannalta suoja-aineen lateraali (säteen- ja tangentinsuuntainen) tunkeuma ja jäämä ovat ratkaisevia. Männyn pintapuun kemiallisen suojauksen taso riippuu myös kyllästysprosessin vaiheista ja käytettävän kyllästysaineen ominaisuuksista. (7, 7.)

Painekyllästetyssä puussa suoja-aine on tunkeutunut koko pintapuukerroksen läpi. Luonnostaan lahonkestävään sydänpuuhun kyllästysaine tunkeutuu vain joidenkin millimetrien syvyydeltä. Tämä johtuu muun muassa sydänpuun sisältämistä uuteaineista ja rengashuokosten aspiroitumisesta.

Nämä tekevät sydänpuusta luontaisesti paremmin lahon- ja säänkestävää verrattuna käsittelemättömään pintapuuhun. (5,34; 6,5.)

Suomessa käytössä oleva laatuluokitus perustuu Pohjoismaiden puunsuojausneuvoston NTR:n (Nordiska Träskyddsrådet) määrittelyyn kyllästysaineista, kyllästesyvyydestä ja puumateriaalista. Kyllästetty sahatavara luokitellaan neljään luokkaan M, A, AB ja B kyllästeen tunkeumasyvyyden ja kyllästeen määrän perusteella. Luokissa M, A, AB suoja-aine on tunkeutunut sydänpuuhun saakka ja tunkeutuneen suoja-aineen määrän on täytettävä määrittelyn vaatimukset. Luokassa B suoja-aineen lateraalinen tunkeuma on oltava vähintään 5 mm ja pituussuuntainen tunkeuma vähintään 50 mm. Suomessa kyllästetään mäntypuutavaraa kyllästysluokkiin A ja AB. Kyllästysaineena käytetään Suomen ympäristökeskuksen hyväksymiä valmisteita. (8,1; 9,1.)

Kyllästetyssä puussa käytetään seuraavaa laatuluokitusta:

**M-luokka:** Puu, jota käytetään suolaisessa merivedessä.

**A-luokka:** 50 mm ja sitä paksumpi sahatavara, joka on jatkuvassa kosketuksessa maahan tai veteen. Käytetään myös maan yläpuolisiin rakenteisiin, jotka edellyttävät erityistä suojausta. Esimerkiksi laituritolpat, maahan ulottuvat tolpat, maahan ulottuvat ja turvallisuutta edistävät rakenteet kuten portaat ja kaiteet, aitatolpat, alajuoksut, pengerrykset, sillat, ajosillat ja pihalaatat

**AB-luokka:** AB-luokan painekyllästetyn puutavaran käyttökohteita ovat maanpinnan yläpuoliset rakenteet, jotka ovat säälle alttiissa tilassa. AB-luokkaan kyllästetään alle 50 mm paksuinen sahatavara. AB-luokan käyttökohteita ovat terassilaudoitukset, piha-aidat, rakennusten ulkoverhoukset, pihakalusteet ja leikkikenttärakenteet.

**B-luokka:** Puu joka on sateelta suojattu, mutta säälle ja kondenssikosteudelle alttiina. (21;1; 9:1)

### 3.1 Paineekyllästysprosessi

Paineekyllästyslaitteiston keskeiset komponentit ovat kyllästyssylinteri, suojaainesäiliö, sähkö-/lämmitysvastukset, korkeapaine-, siirtopumput, kompressori, höyrystin ja ohjausyksikkö, joiden avulla säädetään kyllästysprosessin muuttujia.(10;10)



Kuva 1. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun kyllästyslaitteisto.

Prosessissa säädettävät muuttujat ovat:

- kyllästyssylinterissä valitseva ilman- ja nesteenpaine (MPa / bar)
- käyttöliuoksen lämpötila (°C)
- ilman lämpötila kyllästyssylinterissä (°C)
- prosessivaiheiden ajallinen pituus (min) (10;11)

Edellä mainittujen komponenttien ja muuttujien avulla luodaan eri suoja-ainevalmisteille, puutuotteille ja kyllästysluokille tarvittavat prosessiarvot eli painekyllästysmenetelmät. Näitä voi olla mm. Bethel- ja Rüping-menetelmät. Puunsuoja-aineen lateraalia tunkeumaa ja jäämää männyn pintapuuhun voidaan säätää painekyllästysprosessissa käytettävän yli- tai alipaineen määrällä, kestolla sekä kyllästysaineen väkevyydellä ja lämpötilalla.

Käytännössä kyllästysprosessissa käytettävät yli- tai alipaineet ovat vakioituneet ja muuttujana käytetään nykyisin vain yli- tai alipainevaiheen ajallista kestoa.

## 3.2 Kyllästysmenetelmiä

### 3.2.1 Bethell

Bethell on niin sanottu täyssolukyllästysmenetelmä. Prosessissa puutavara asetetaan kyllästyssylinteriin, johon johdetaan lahontorjuntaan käytettävä liuos. Prosessin aikana tila alipaineistetaan, jotta tuotteen solukosta saadaan ilma pois. Prosessin alussa alkutyhjiössä pidetään vähintään 85 % (−0,85 bar) alipainetta noin 45 minuuttia. (10,85.)

Alipaineistuksen jälkeen tilaan johdetaan ylipaine (työpaine) 1,2 – 1,6 MPa ja liuos, joka tunkeutuu solukoihin poistuneen ilman tilalle. Tämä vaihe kestää 120 – 180 minuuttia. Tätä vaihetta kuitenkin jatketaan niin kauan, kunnes kyllästettävään puuhun ei tunkeudu enää kyllästysainetta. (10,85.)

Paineistusajan jälkeen sylinteri tyhjennetään liuoksesta ja tilaan ohjataan alipaine (lopputyhjiö), joka on paineistusajan ollessa noin 30 minuuttia myös 85 %. Tällöin tuotteessa oleva ylimääräinen liuos poistuu sylinteristä käyttöliuossäiliöön. (10,85.)

Tyhjiö-paine-tyhjiö-vaihe kestää kaikkiaan noin 3,5 tuntia. Prosessin viimeisessä vaiheessa kostea tippumaton tuote siirretään lämpökamariin + 40 °C:seen kuivumaan. Kuivuminen kestää 1- 2 vuorokautta.

Täyssolumenetelmää eli Bethell-prosessia käytetään yleensä suolakyllästeiden kanssa. Suolakyllästeet ovat useimmiten metallioksidien vesiliuoksia. Nykyään on käytössä myös muita vesiliukoisia kyllästeitä.

Tällä menetelmällä pyritään saamaan mäntypuun pintapuusolukko aivan täyteen kyllästeliuosta. Puun solukosta vedetään ilmaa pois alipaineen avulla ja sen jälkeen kylläste saatetaan puun sisään kyllästysnesteen ollessa ylipaineessa. Bethell-prosessin lopussa on vielä lopputyhjiöksi kutsuttu vaihe, jolla kyllästetyn puutavaran pinta kuivataan. Perinteinen vihreä kyllästetty puutavara saadaan CuO-suolakyllästeellä, jossa vaikuttavana aineena on kupari.

### 3.2.2 Rüping

Tyhjäsolumenetelmää eli Rüping-prosessia käytetään yleensä kreosoottiöljyn yhteydessä, mutta joskus erikoistapauksissa myös suolakyllästeille. Rüping-prosessia voidaan käyttää myös muiden öljypitoisten kyllästeiden kanssa. Tällä menetelmällä pyritään nimen mukaisesti jättämään mäntypuun pintapuusolukon soluonkalot mahdollisimman tyhjiksi. Rüpingissa käytetään samanlaisia työvälineitä ja menetelmiä kuin Bethell prosessissa. Prosessissa puutavara asetetaan suljettavaan kyllästyslieriöön, joka kestää ali- ja ylipainetta sekä kemiallisia liuoksia. Lieriöön johdetaan torjunta-aineena käytettävä liuos. (10,85.)

Prosessin alussa alkutyhjän eli alipaineen sijaan käytetään ylipainetta, jolla puristetaan ilmaa puun solukkoon. Alussa käytetään 0,3–0,4 MPa painetta noin 10 - 15 minuuttia. (10,85.)

Alkupaineen jälkeen tilaan laitetaan niin sanottu työpaine, jolloin kyllästysaine tunkeutuu puun sisään ylipaineesta johtuen. Työpaineen aikana käytetään 1,0 – 1,2 MPa:n painetta 80 – 180 minuuttia. (10,85.)

Kyllästysohjelman lopuksi käytetään 60 – 120 min lopputyhjiötä (– 0,75 MPa) poistamaan ylimääräinen kyllästysaine. (10,85.)

### 3.2.3 Diffuusiomenetelmä

Diffuusiomenetelmän käytön edellytyksenä on puutavaran riittävän suuri kosteus. Teollisessa kyllästyksessä sen on oltava yli 50 %, kun taas jälkikyllästyksessä se voi jäädä alle puunsyiden kyllästymispisteen, joka on 30 %. Tällöin puunsuoja-aineen aktiiviset ainesosat voivat vaikeuksitta siirtyä vapaan veden avulla puunsoluihin. Diffuusiokyllästyksessä vesiliukoinen kylläste ei saa olla herkästi kiinnittävää. (11,141; 10,87)

Teollisessa diffuusiokyllästyksessä juuri sahattu puutavara upotetaan korkeintaan muutamiksi minuuteiksi väkevään kyllästysliuokseen. Puutavara varastoidaan sen jälkeen tiiviissä paketeissa 3-10 viikkoa puutavaran dimension eli koon mukaan. Diffuusiovaiheen aikana puutavara pidetään peitettynä, jotta se

ei kuivuisi liian nopeasti, ja kyllästysaine voisi tunkeutua mahdollisimman syvälle puun solukkoihin. (11,141; 10,87)

### **3.2.4 Jälkikyllästys, ruiskutus, sively ja boorisauvat**

Kyllästysaine ruiskutetaan tai sivellään sahatavaraan. Ruiskutus ja sively ovat helppoja ja nopeita tapoja levittää kyllästysainetta sahatavaran pintaan, ja käsittely voidaan toistaa useita kertoja tarvittaessa. (12:1: 4:62)

Ruiskutuksen ja sivelyn voi myös tehdä sahatavaran jo ollessa käytössä. Ruiskutuksen ja sivelyn huonona puolena on se, että ne eivät kestä hyvin erilaisia sään muutoksia. Aineet huuhtoutuvat helposti pois puun pinnasta, jos pinta joutuu tekemisiin veden kanssa. Ruiskutuksessa ja sivelyssä kyllästysaine ei imeydy puuhun pintaa syvemmälle, joten se ei suojaa puuta sydänpuuhun saakka. (12:1; 4:65)

Ruiskutus ja sively suojaavat puuta muodostamalla puun pinnalle kalvon tai kerroksen, joka estää kosteuden imeytymisen. Menetelmien ongelmana on pinnan kuivuminen; puu kuivuu ja halkeilee. Syntyneistä halkeamista pääsee puun sisälle pinnan suoja-aineen ohi kosteutta ja lahottajasieniä. (4,101; 10,87.)

Boorisauvoja käytetään puurakenteisissa kohteissa, joissa katkopintojen ja liitosten kautta tuleva vesi voi ajoittain saada puun suhteellisen kosteuden nousemaan yli puun syiden kyllästymispisteen (30 %). Boorisauvoja voidaan käyttää myös vanhojen rakenteiden, esimerkiksi kosteaan tiilimuuriin kiinnitettyjen palkkien kyllästämiseen. (10,87; 3,1.)

Boorisauvat asetetaan valmiiksi porattuihin reikiin. Reikien halkaisijan tulee olla 9,5 – 25 mm sauvojen koon mukaan. Reiät suljetaan puu- tai muovitulpalla. Muovitulppaa käytettäessä voidaan suorittaa jälkitarkastuksia. Jos boorisauva on liuennut, puu on joutunut alttiiksi kostumiselle ainakin yli puunsyiden kyllästyspisteen. Liuenneen boori-sauvan tilalle asetetaan uusi sauva. (10,87; 3,1.)



### 3.2.5 Liotusmenetelmä

Puutavaran kyllästäminen liottamalla sopivassa kyllästysaineessa antaa kunnollisen kyllästystuloksen, jos liotusaika on tarpeeksi pitkä. Liotusmenetelmä sopii hyvin pienille puutavaramäärille ja silloin tuotteen käyttöönottolla ei ole mitään kiirettä. Liotusmenetelmä on enemmänkin kotioloihin sopiva kyllästysmenetelmä. Liotuksessa ei voida käyttää nopeasti imeytyviä suoloja, koska näin hitaassa menetelmässä ne eivät imeytyisi tasaisesti tarpeeksi syvälle puuhun, vaan suurin osa aineesta jäisi puun pintakerrokseen. (4,100.)

## 4 BOORI

### 4.1 Boori ja sen käyttö

Boori on alkuaine, joka on kolmiarvoinen amorfinen puolimetalli. Luonnossa sitä esiintyy vain yhdisteinä, boorakseina. Booriyhdisteet eivät yleensä ole myrkyllisiä, mutta jotkin erikoisimmat boorivety-yhdisteet ovat myrkyllisiä. (13,1.)

Eniten booria käytetään booriyhdiste booraksina eli dinatriumtetraboraatti dekahydraattina ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ), jota käytetään suuria määriä mm. eristävän lasivillan valmistuksessa. Lisäksi booria käytetään palonestoaineena, tekstiilituotannossa ja lääkkeenä silmien desinfioinnissa.

Boori-10-isotooppia käytetään myös ydinreaktoreissa säteilysuojana ja neutronien havaitsemiseen. (13,1.)

### 4.2 Boorihappo

Boorihappo on veteen liukeneva heikko happo, joka esiintyy huoneenlämmössä kiinteässä muodossa, värittöminä kiteinä tai valkoisena jauheena. Sitä käytetään esimerkiksi antiseptisena aineena, hyönteismyrkkynä, palonestoaineena sekä muiden kemiallisten yhdisteiden lähtöaineena. Boorihaposta käytetään myös nimeä ortoboorihappo, jonka suolat ovat boraatteja. (13,1.)

### 4.3 Booraksi

Booraksi eli dinatriumtetraboraatti dekahydraatti, jonka nimityksiä ovat myös natriumboraatti ja natriumtetraboraatti, on monikäyttöinen booriyhdiste, mineraali ja boorihapon suola.

Booraksia käytetään kotitalouksissa mm. homeenestoon, puhdistukseen ja hyönteistorjuntaan. Sillä on lukuisia käyttötarkoituksia myös teollisuudessa. Näistä yleisimmät liittyvät booraksin kykyyn alentaa työstettävien metallien tai lasin sulamislämpötilaa. Booraksi on myös boorihapon päälähde. Yksi erikoisimmista käyttötarkoituksista liittyy booraksin kykyyn absorboida neutroneja. Tämän ansiosta sitä käytetään ydinreaktoreiden ja käytetyn ydinpolttoaineen yhteydessä sekä fissioreaktion hallitsemiseen että lopulliseen ketjureaktion pysäyttämiseen. (13,1.)

### 4.4 Boraatti

Boraatti on kemiallinen yhdiste, jossa booriatomia on sitonut kolme happiatomia. Yhdisteen kaava on  $B(O)_3$ . Boraatti-ioni ( $BO_3^{3-}$ ) muodostaa suoloja metallien kanssa. Happamissa ja lähes neutraaleissa olosuhteissa boraatit ovat boorihappona. (13,1.)

## 5 BOORIN KÄYTTÖ KYLLÄSTYKSESSÄ

Boori on tunnetusti hyvä lahon ja homeen suoja. Boorin käyttö kyllästysaineessa on ollut ongelmallista, koska sitä ei ole saatu sidottua puun solukkoihin, vaan se huuhtoutuu veden ja kosteuden vaikutuksesta pois puusta. (2:7312-7322)

Kyllästysaineen negatiivisia vaikutuksia puuhun ovat olleet myös sen pinnalle muodostuva tahmea vahamainen pinta kyllästyksen jälkeen. Kyllästetystä puusta on tunkeutunut ainetta ulospäin, jolloin tapahtuu ns. kärpäspaperi-ilmiö. (2:7312-7322)

Kyllästysaineen ulostunkeutuminen on yleistä öljypohjaisilla kyllästysaineilla, koska öljypohjaisilla kyllästysaineilla ei ole onnistuttu muodostamaan pysyviä kemiallisia sidoksia puun kanssa. Öljypohjaisissa kyllästeissä ulostunkeutuminen johtuu öljystä. Öljy viilenee kyllästyksessä, eli se supistuu.

Puun ollessa kyllästyksen jälkeen lämpimässä tilassa öljy lämpenee uudelleen ja laajentuessaan puskeutuu ulospäin puusta, joten puun pinnasta tulee tahmea. (2:7312-7322)



Kuva 2. Puusta tunkeutuvaa kyllästysainetta

Boori on kuitenkin hyvä kyllästysaine myönteisten ominaisuuksiensa vuoksi. Boori on helppo saada puuhun ja sillä on helppo kyllästää myös puulajeja, joita aikaisemmin on ollut vaikea kyllästää kuparipohjaisilla kyllästysaineilla. Vaikka booria on pidetty tehokkaampana kyllästysaineena kuin kuparia ja sinkkiä, kuitenkin kuparilla ja sinkillä on enemmän variaatioita, joita voidaan kyllästyksessä käyttää. (2,7312 - 7322.)

Kyllästyksessä epäorgaaniset boorit tarjoavat riittävän suojan maan pinnan yläpuolisille rakenteille ja rakentamisessa tarvittaville sovelluksille. Tutkimuksissa on todettu boorien tarjoavan pitkäaikaisen suojan rakenteissa oleville puille. Puusta häviää booria vain kun puu kastuu ja on kosketuksissa veden kanssa pitkiä aikoja. (2,7312 - 7322.)

Aikaisemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että kun boori saadaan pysymään puussa, se laskee puun luonnollista tehokkuutta homeen ja lahon estämiseksi. (2,7312 - 7322.)

Kun tulevaisuudessa booria tutkitaan lisää, saadaan lisää kaavoja ja menetelmiä boorin saattamiseksi ja sitomiseksi puuhun, jotka tarjoavat vaihtoehtoja nykyisille kyllästysaineille. Boorin käytön tutkimisessa on yritetty löytää kaavoja kyllästysaineille, joissa boori olisi pohja-aineena. (2,7312 - 7322.)

Boorin kyllästysmenetelmiä on tutkittu maailmalla. On todettu, että tulevat tuotekehitysyrietykset pohjautuvat käsittelyihin, joissa on booriyhdisteitä ja pohja-aineena öljyt (mm. mäntyöljy), jotka estävät kuivauksen jälkeen booria huuhtoutumasta pois puusta. Öljyt saattavat olla kalliimpia kuin nykyiset pohja-aineet, ja puun pinnalle saattaa muodostua ei-haluttuja elementtejä.

## **5.1 Käyttö suosituksia maailmalla**

Booria käytetään maailmalla yleisesti kyllästysaineena etenkin Uudessa-Seelannissa, joka on yksi suurimmista kyllästetyn puutavaran tuottajista maailmassa. Uudessa-Seelannissa booripohjaisia tuotteita on kyllästetty jo pidemmän aikaa ja booripohjaisten tuotteiden tuotanto v. 2006 oli 175,000 m<sup>3</sup>. Uusiseelantilaisen standardin NZS 3602:2003 mukaan booripohjaisella kyllästysaineella kyllästetty puu yltää pohjoismaiseen AB-luokkaan, jos sen booriarvot ovat BAE (boric acid equivalent) 0,8 % ja kyllästysaine saa booriaineen pysymään puussa.

Uusiseelantilaisen rakennusstandardin mukaan 0,8 % -BAE pitoisuudella puuta voidaan käyttää samoissa kohteissa kuin pohjoismaisen AB-luokan puutavaraa. Uudessa-Seelannissa booripitoisia kyllästysaineita käytetään rakentamisessa kattoristikoidissa, seinienrakenteissa, välipohjissa ja ikkunoissa. Niitä käytetään myös samoissa kohteissa kuin Suomessa kyllästettyä puutavaraa, kuten terassilautoituksissa, piha-aidoissa, rakennusten ulkoverhouksissa, pihakalusteissa ja leikkikenttärakenteissa. (14,1.)

Amerikan puunsuojaisyhdistyksen (AWPS) mukaan epäorgaanisella boorilla on historiaa puunsuojauksessa, ja sen on todettu olevan laaja-alaisempi, tehokas hyönteis- ja sienituhoja vastaan. Boorin on todettu olevan vesiliukoinen, ja se diffuusioituu missä puun tuhot ovat pahimmat. Boorilla on todettu myös vähäistä myrkyllisyyttä ja pientä hajoamista. Se on väritön, hajuton eikä aiheuta

korroosiota. AWPS suosittelee puussa olevan boorin pitoisuudeksi 0,9 % BAE, kun puu on kyllästetty painekyllästys-menetelmällä ja puu on jatkuvasti säältä suojatussa tilassa. Yhdistys toteaaakin että boorikyllästeet eivät sovi maakosketuksessa oleville ratkaisuille huuhtoutumisen vuoksi. Boorin on todettu vähentävän lahottaja- ja sienipitoisuutta BAE tason ollessa 0,4 %. Termiittien tuhoamiseen tulisi AWSP:n mukaan riittää 1,2 % BAE -arvo. (15,1.)

Louisianan yliopistossa tehtyjen tutkimusten mukaan booriyhdisteiden on todettu olevan tehokkaita kemikaaleja hyönteisiä ja lahottajasieniä vastaan. Tutkimuksessa disodium octaborate tetrahydrate (DOT) oli tehokas ja hyvä suoja Famosan subterranean termites (FST) termiittiä vastaan, joka on yksi tuhoisimmista termiittilajeista maailmassa. Kun BAE -arvo oli 0,54 %, se johti korkeaan termiittien kuolleisuuteen ja puun 1 % painon menetykseen. Samalla BAE -arvolla kyllästetyt puut kestivät kenttäkokeessa kaksi vuotta ilman merkittäviä tuhoja. DOT -kyllästetty 0,35 %:n BAE -arvo vähensi termiittien syöntiä ja tappoi kaikki termiitit kolmessa viikossa. (16,1.)

Louisianan yliopistossa on myös tutkittu boorin vaikutusta OSB -levyyn termiittien torjunnassa. Käytetyt kyllästysaineet olivat sinkkiboraatti (ZB) ja kalsiumboraatti (CB). Tutkimuksen tulosten mukaan yhdisteet suojasivat levyjä vakavilta vahingoilta, mutta eivät täysin tuhonneet termiittejä.

Booriarvojen ollessa yli 1 % ne tarjoavat hyvän suojan FST-termiittien hyökkäyksiä vastaan. (16,1.)

### 5.1.1 Käyttö Suomessa

Vuonna 2007 teollisesti kyllästettyä puuta tuotettiin Suomessa yhteensä 376 000 m<sup>3</sup>. Tuotantomäärästä sen sahatavaran osuus oli 257 000 m<sup>3</sup> ja pylväiden 103 000 m<sup>3</sup>. Ratapölkkyjä kyllästettiin 16 000 m<sup>3</sup>. Suurin osa sahatavarasta käsitellään Suomessa arseenittomilla ja kromittomilla kuparikyllästeillä. Pylväiden kyllästämisessä käytetään kuparivalmisteita ja kreosoottiöljyä, mutta ratapölkkyjen kyllästämisessä käytettiin ainoastaan kreosoottiöljyä. (3:1)

CC-kyllästeiden (kupari, kromi) suojausteho on kromin ansiosta huomattavasti parempi kuin C-kyllästeiden (kupari). C-kyllästeissä käytetään kuparia ja sen

lisäksi booria, polymeerista betaiinia sekä ammoniumkloridia. Näitä käytetään yleensä AB-luokan kyllästeinä. Metallivapaat kyllästeet sisältävät yleensä ammoniumkloridia, polymeeristä betaiinia, booria, propikonatsolia tai tebukonatsolia, ja niitä käytetään myös AB-luokan kyllästeinä. (3:1)

Liuotinpohjaiset kyllästeet koostuvat kevyistä liuottimesta kuten teollisuusbenssiinistä ja siihen liuotetusta tehoaineesta. Näitä käytetään yleensä luokassa B. (3:1)

Suomessa on myynnissä ja käytössä kyllästysaineita, joissa on booria lisäaineena. Näitä kaupallisella nimellä olevia aineita ovat mm. Tanalith E ja Wolmanit CX-8, joissa molemmissa on booria 0,01 %. (3:1)

## **6 BOORIKYLLÄSTEIDEN HÄVITYS KÄYTÖN JÄLKEEN**

Boorin käyttöä kyllästyksessä puoltaa sen vaarattomuus. Boorilla kyllästettyä puutavaraa ei tarvitse hävittää ongelmajätteenä ainakaan Yhdysvalloissa. Tämä perustuu Miamin yliopiston tekemään arvioon, jossa todetaan boorikyllästetyn puutavaran olevan turvallista, koska se ei saastuta vesistöjä, maaperää ja sen tuhkan todetaan myös olevan turvallista. Arvion mukaan boorikyllästetyn puutavaran voi hävittää mm. polttamalla ja hautaamalla maahan. Puusta vapautuva boori ei ole vaarallista, ja sitä vapautuu puusta pitkällä aikavälillä vain vähän, joten se ei ylitä vaaralliseksi arvioituja raja-arvoja. (17,1.)

Suomessa käytetään paljon lannoitteita metsien ravinne-epätasapainon korjaamiseksi. Lannoitettavia alueita vuonna 2002 oli noin 20 000 hehtaaria. Erityisesti kivennäismaiden kuusikoissa kasvuhäiriöitä aiheuttavaa boorin puutosta on pyritty ehkäisemään. Voisiko boorikyllästettyä sahatavaraa käyttää jollakin tavalla lannoituksessa sen jälkeen, kun sitä on käytetty normaalissa kotioiloissa olevissa kohteissa? Tai voisiko kotona olevia puita ja pensaita lannoittaa poltetulla booripitoisella tuhalla? Suuressa mittakaavassa polttaminen kuitenkin vaatii syntyvien hiukkasten talteen oton poltossa vapautuvien boorioksidien vuoksi (18,1.)

## 7 KEMIRA

Kemira Oyj on suomalainen teollisuuskemikaaleja valmistava pörssiyhtiö, jolla on pitkät perinteet kyllästysaineiden valmistuksesta. Nykyisin tunnetun Kemiran edeltäjä oli vuonna 1920 perustettu Valtion Rikkihappo- ja Superfosfaattitehdas, josta tuli osakeyhtiö vuonna 1933. Vuosien aikana yhtiö on laajentunut voimakkaasti kemian eri aloille yritysostojen ja fuusioiden kautta. Vuonna 1961 yhtiön nimeksi muutettiin Rikkihappo Oy ja vuonna 1971 yhtiöön sulautettiin tyyppiteollisuutta Oulussa harjoittanut Typpi Oy, samassa yhteydessä yhtiön nimeksi muutettiin Kemira Oy. Myöhemmin se muuttui Kemira Oyj:ksi. (19;1)

2000-luvulla Kemirasta on irrotettu monia liiketoimintoja. Lannoitetuotanto eriytettiin vuonna 2004 Kemira GrowHowksi, jonka norjalainen Yara sittemmin osti vuonna 2007. Hienokemikaalit yhtiöitettiin KemFine Oy:ksi, joka myytiin pääomasijoitusyhtiö 3i:lle. Maaleja ja teollisuuspinnoitteita valmistanut Tikkurila erotettiin Kemirasta maaliskuussa 2010. Kemiran osia on myyty myös muille yrityksille. (19;1)

Kemiran visiona on olla johtava vesikemian yhtiö. Nykyään Kemira tuottaa pääasiassa paperi- ja selluteollisuuden, vedenpuhdistuksen sekä öljy- ja kaivosteollisuuden tarvitsemia kemikaaleja. Kemiralla on toimintaa 40:ssä eri maassa. Suomessa tuotantolaitoksia on mm. Oulussa, Vaasassa, Porissa, Sastamalassa, Joutsenossa, Kuusankoskella, Harjavallassa ja Siilinjärvellä. Konsernin pääkonttori sijaitsee Helsingin Ruoholahdessa ja tutkimuskeskus Espoossa. (19,1.)

## 8 BOORIN SITOMISEEN KÄYTETTYJÄ MENETELMIÄ JA AINEITA

### 8.1 Pintakäsittely

Yleinen tapa pintakäsiteltävän puun suojauksessa on levittää booria sisältävää vahaa, lakkaa tai maalia puun pinnalle. Nämä menetelmät toimivat hyvin niin kauan kuin kyllästeen pinta pysyy ehjänä ja sitä hoidetaan hyvin. Suojauksen tehokkuutta lisää myös pinnan uudelleen käsittely. Tehokkuus riippuu siitä, kuinka paksu kerros kyllästysainetta on levitetty puun pinnalle. Pinnalle

levitettävissä kyllästeissä boori huuhtoutuu pois puista, jos ilmankosteus on yli 20 %. (2,7312 - 7322.)

## 8.2 Kaksinkertainen käsittely

Käsiteltyjen puiden huono kestävyys lämpimillä ja kosteilla alueilla on johtanut siihen, että alueilla käytetään puulajeja, joiden sydänpuu ei ole kyllästettävissä perinteisillä kyllästysmenetelmillä. Tutkimukset ovat osoittaneet, että sahatavaralle saadaan pidempi käyttöikä käsittelyllä, jossa puuhun laitetaan diffuusion avulla booria, joka tunkeutuu myös sydänpuuhun. Käsittelyä seuraa varastointi ja uudelleenkyllästys kreosootilla, joka estää boorin huuhtoutumisen. Booria häviää hieman ilmakeivauksessa. Näin käsitellyt puutavarat ovat olleet vielä 15 vuoden jälkeen hyvässä kunnossa ja kyllästys on yhä riittävä. (2,7312 - 7322.)

Menetelmän ongelma on kreosootin käyttö, joka on kielletty sen vaarallisuuden ja ympäristölle myrkyllisten ominaisuuksien vuoksi. Korvaavaksi aineeksi tutkitaan ja ehdotetaan liuotinpohjaisia ja öljypohjaisia kyllästeitä. (2,7312 - 7322.)

## 8.3 Puu täyteaineena ja hartsikäsittely

Käsittelyssä puu turpoaa, ja siihen tilaan se jää, kun käsittely on suoritettu. Käsittelyssä estetään veden pääsy puuhun vettähylkivällä aineella, joka estää boorin huuhtoutumisen, kuitenkin rajoittamatta sen luontaista kykyä estää lahoa, hometta ja termiittejä.

Käsittelyssä hartsi laitetaan osaksi soluseinämää jolloin se estää boorin huuhtoutumista. Puuta käsitellään vesiliukoisilla hartseilla, kuten puuhartsilla, öljyhartsilla ja formaldehydihartsilla. Boorihappo tai trimetyyli-boraatti ja formaldehydyhdisteet ovat osoittautuneet hyviksi lahoa ja termiittejä vastaan. Boorin huuhtoutuminen on saatu estettyä OH-ryhmien soluseinämien ristiinsilloituksen avulla. (2,7312 - 7322.)



Menetelmä on halpa, eivätkä siihen tarvittavat aineetkaan eivät ole kalliita. Menetelmä vähentää kuitenkin vähentää puun luontaisia lujuusominaisuuksia. (2,7312 - 7322.)

#### 8.4 Orgaaniset booriyhdisteet (OBC)

Orgaanisissa booriyhdisteissä on käytetty kahta boorihappoa  $\text{RB}(\text{OH})_2$  ja  $\text{R}_2\text{BOH}$ . Aromaattiset boorihapot ovat laskeneet boorin vesiliukoisuutta, ja vähentäneet boorin huuhtoutumista puusta. Se johtuu aromaattisten alayksiköiden vuorovaikutuksesta ligniinin kanssa ja rajallisesta veden yhteydestä boorin kanssa. Eniten tutkittu orgaaninen booriyhdiste on Phenyl boronic acid (PBA). PBA on vakaa vedessä ja korkeissa lämpötiloissa. Puu, joka on kyllästetty 0,34 %:n w/w PBA-aineella, on ollut hyvin vastustuskykyinen homeelle ja laholle. PBA-kyllästetty puu antoi kymmenen päivän vesihuuhtelun jälkeen täydellisen suojan lahottajasieniä vastaan ja torjui täydellisesti termiittien hyökkäyksen, kun kyllästysaineen pitoisuus oli 1,0 % PBA-koekappaleilla. PBA:lla on kaksi OH-ryhmää, jotka on yhdistetty booriin, ja ne on kiinnitetty puuhun. PBA on puussa hyvin vakaa, koska veden pääsy booriin on rajoitettu OH-ryhmien avulla ja toisilla PBA molekyyileillä. PBA-kyllästys yhdistettynä höyrykäsittelyyn parantaa puun mittapysyvyyttä, lahon sekä termiittien vastustuskykyä pelkkää PBA-käsittelyä paremmaksi. Menetelmän kaupallistumista ovat rajoittaneet PBA:n kallis hinta ja boorihapon haitat. (2,7312 - 7322.)

#### 8.5 Orgaaniset boorisuolat

Booriyhdisteillä muodostetaan väliaineen avulla veteen liukenematon yhdiste ilmakeivauksessa tetraphenylboraattisuolalla  $((\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{BNa})$  ja kaliumklooriliuoksella. Yhdiste vähensi boorin huuhtoutumista puusta, ja se oli myös tehokas lahottajasieniä ja homeita vastaan. (2,7312 - 7322.)

#### 8.6 Yhdistelmä torjunta-aineita ja epäorgaanisia lisäaineita

Epäorgaaniset aineet voivat antaa puulle paremman suojan kuin luonnonmukaiset torjunta aineet. Puiden käsittely DOT:lla (disodium octaborate treated), boorihapolla, kalsiumboraatilla tai NHA-Na-liuoksilla on vähentänyt

herkkyyttä boorin liukenemiselle. Kappaleet, jotka on käsitelty booriyhdisteillä ja sen jälkeen 1 % NHA-Na-liuoksella, ovat osoittaneet 30 % vähemmän boorin huuhtoutumista. Puussa boori ja NHA-Na antavat yhdessä hyvän suojan sieniä ja termiittejä vastaan. Yhdistelmässä NHA-Na estää sienirihmojen kalsiumin toimintaa. (2,7312 – 7322.)

Jotkin lisäaineet eivät paranna boorin toimintaa ja ovat epäsouvia booriyhdisteiden kanssa. Tutkimuksessa, jossa puu oli käsitelty akryylipolymeerillä ja boorilla, havaittiin, että aineen torjuntakyky oli sama boorin liukenemisen jälkeen, kuin vain polymeerillä käsitellyillä kappaleilla. Huuhtoutumisen jälkeen polymeerit olivat pääasiassa lahoa estävä aineosa. Vain polymeerillä käsitellyt kappaleet toimivat paremmin kuin käsittelemättömät kappaleet. (2,7312 – 7322.)

## **8.7 Epäorgaaniset metallit ja booriyhdisteet (metalliboorit)**

Puuta voidaan käsitellä epäorgaanisella boorilla ja metallisuoloilla. Kaksivaiheisen kyllästykseen jälkeen ne antavat puulle vettä läpäisemättömiä ominaisuuksia huuhtoutumisen estämiseksi. (2,7312 - 7322.)

Sinkkiboraatti (ZB) sisällytettynä osaksi komponenttia tarjoaa paremman suojan huuhtoutumista vastaan kuin liukoiset epäorgaaniset boraatit. Kyllästyksessä sinkkiboraatin käyttö on epäkäytännöllistä, koska se on matalaliukoista. (2,7312 - 7322.)

On myös tutkittu tahnaa, joka sisältävää booraksia ja liuennutta kupariamiinia sekä lisättyä polyeteeniä. Näin käsitellyt koekappaleet ovat kestäneet laho- ja termiittivapaana 12 vuotta. On esitetty, että kupariboraatti-yhdistelmä on mahdollistanut pitkäkestoisen suojavaikutuksen. (2,7312 - 7322.)

Puuta voidaan myös käsitellä epäorgaanisilla booreilla ja metallisuoloilla, jotka ne muodostavat liukenemattoman pinnan puun pinnalle. Sinkkiboraatti-käsittely, jossa kappaleita käsitellään booraksilla ja sinkkikloridilla on todettu erinomaiseksi yhdisteeksi, koska se on veteen liukenematon. Kappaleet ovat olleet vastustuskykyisiä usealle testatulle lahottajasienelle. Käsittelyn hyvistä

vaikutuksista huolimatta sen luonnolle vaaralliset ominaisuudet rajoittavat sen käyttöä. (2,7312 - 7322.)

Metalliorgaaniset boorit kyllästyksessä yhdistettynä sinkkisulfaattiin ja kuparisulfaattiin diffuusion avulla osoittavat koekappaleiden pientä painon vähenemistä ja korkeaa termiittien kuolleisuutta seoksen vahvuuden ollessa 3 %. Kenttäkokeissa booriseoksen ollessa 5 % koekappaleiden paino oli pudonnut kahden kuukauden jälkeen ja seoksen oli todettu antavan hyvän suojan lahottajasieniä vastaan. Menetelmän kaupallisia sovelluksia rajoittavat sen kalliit kustannukset. (2,7312 - 7322.)

Zirkoniumilla ei ole biologista vaikutusta, mutta sitä on tutkittu boorin kiinnitysaineena. Liuotettu vesiliukoinen zirkoniumsuola ja boori saatetaan puuhun, jolloin zirkonium sitoo booria puuhun.

Vaihtoehtoisesti kappaleet käsitellään zirkoniumsuolalla ja sen jälkeen booriyhdisteillä, jotka muodostavat yhdistelmän puun rakenteen kanssa.

Tutkimuksessa on todettu, että mitä enemmän booria halutaan jättää puuhun, sitä väkevämpää zirkoniumyhdisteen tulee olla. Ammoniumzirkoniumkarbonaatilla ja potassiumzirkoniumkarbonaatilla on samanlaiset ominaisuudet boorin kanssa ja yhtä tehokkaat lahontorjunnassa, kun taas zirkoniumoksidi todettiin olevan tehoton boorin suhteen. Pienin tarvittava zirkoniumoksidin väkevyys, jolla saatiin estettyä boorin huuhtoutumista oli 0,5 %. Yhdistettynä 1,2 % - 0,85 %:n BAE-pitoisuuteen on saatu toimiva kyllästysaine. Kyllästyksessä boorin kiinnittäminen on optimoitu lämpökäsittelyllä 60 asteessa. (2,7312 - 7322.)

## **8.8 Ammonium- ja amiini metalliorgaaniset boraatit**

Metalliorgaanisten boraattien ratkaisut ja ammoniakkin hapot voidaan kemiallisesti lisätä puuhun. Yhdysvalloissa patentoidussa kyllästysmenetelmässä käytetään boorin huuhtoutumisen estämiseksi ainetta, joka sisältää ammoniakki- tai natriumboraattia, jonka lähde on sinkki tai kupari. (2,7312 - 7322.)

Haihtuvien orgaanisten happojen, vapaan ammoniakkin ja ammoniumnitraattisuolojen tarkoituksena on vähentää boorin huuhtoutumista. Metallien ja boorin korkean pitoisuuden saavuttamiseksi on käytettävä korkeaa ammoniakkipitoisuutta, joka johtaa korkeaan ammoniakkin huuhtoutumiseen ja synnyttää haitallisia höyryjä, josta johtuu epämiellyttävät työolosuhteet sekä suurimittaisen tuotannon vaikeudet. Lisäksi menetelmässä käytettyjen aineiden vaikutuksesta käsitellyn puun pinnalle muodostuu helposti jäkälää. (2,7312 - 7322.)

Amino-oksidit parantavat aineiden läpäisevyyttä ja tarjoavat vedenkestäviä ominaisuuksia. Ne myös parantavat huuhtoutumisen estoa ja boorin sekoittumista kemiallisissa yhdisteissä. (2,7312 - 7322.)

Metallivapaat järjestelmät, jotka on yhdistetty ammoniumkarboksyylien kanssa ammoniumboraatin vesiliukoisessa liuoksessa, ehkäisevät boorin huuhtoutumista enemmän kuin epäorgaaniset yhdisteet. (2,7312 - 7322.)

Dimethyl ammonium tetrafluoroborate wood preservative (DBF) yhdistettynä akryylisilikonin kanssa tarjoavat termiitti- ja lahosuojaa. DBF on vesiliukoinen ammoniakkiyhdiste, jossa on booritetrafluoridia. Yhdistelmä sisältää vakaita silikoniryhmiä ja karboksyyliiryhmiä, jotka tekevät siitä vakaan veden kanssa. Yhdistelmä on ollut tehokas lahottajasieniä vastaan ja vähentänyt huuhtoutumista. Kenttä- ja huuhtoumakokeiden jälkeen on todettu, että DBF-yhdistelmä soveltuu käytettäväksi sovelluksissa joita käytetään ulkotiloissa. (2,7312 - 7322.)

## 8.9 Vakaat booriyhdisteet ja toiset yhdistelmät

Boorihappo- tai boraattiestereitä on käytetty viemään booriaineet puuhun käyttäen useita eri prosesseja, kuten höyryä, jossa käytetään matalan kiehumispisteen estereitä, diffuusiomenetelmää ja kyllästysmenetelmää, jossa käytetään kevyitä orgaanisia estereitä. Booriesterit ovat liukoisia orgaanisia yhdisteitä, jotka helpottavat boorin ja veden sekoittamista. Boori estereitä on käytetty useissa eri sovelluksissa useita vuosia. (2,7312 - 7322.)

Boorihapon tai boraattihapon yhdistäminen valikoitujen lignidien kanssa voi johtaa boorin aktiivisuuden vähenemiseen. Ligninien valinnalla on merkittävä merkitys yhdistettäessä sitä boorin kanssa, jotta saadaan vähennettyä boorin huuhtoutumista. Boorin täyteaineella on suuri merkitys huuhtoutumisen estämisessä. Ligniinin tarkalla valinnalla saadaan aikaiseksi yhdistelmä, joka vastustaa vesiliukoisuutta, toisin kuin alkoholit, jotka liukenevat veteen. Sekoituksella, jossa on boorihappoa tai DOT:ia glyserolia ja glyksaalia, on painekyllästyksellä saatu vähennettyä boorin huuhtoutumista ja kuitenkin on saatu boori helpommin puun sisään heikentämättä materiaalin mittapysyvyyttä. (2,7312 - 7322.)

Kuutta eri booriesteriyhdistettä testattaessa todettiin, että ne olivat tehokkaampia estämään huuhtoutumista kuin DOT. Yhdisteiden todettiin myös olevan tehokkaita lahottajasieniä vastaan.

Maynard patentoi 1993 menetelmän, jossa orgaaninen booriyhdiste sisälsi suolaa. Menetelmässä orgaaniset yhdisteet reagoivat alkoholin kanssa, josta muodostuu yhdiste, joka sitoo booria puuhun.

Vuonna 2002 kokeiltiin yhdistettä, jossa käytettiin boorihappoa, tetrabutyyliammoniumiahydroxidia ja metanolia. Kokeessa yhdiste todettiin tehokkaammaksi kyllästysaineeksi kuin samansuuruisella sekoitussuhteella oleva boorihappo  $\text{NBu}_4(\text{B}(\text{sal})_2)$ . Yhdistelmällä kyllästetyissä puissa säilyi 36 % booria puussa rankkojen sääkokeiden jälkeen.  $\text{NBu}_4(\text{B}(\text{hba})_2)$  Yhdistelmässä booria säilyi 7 % ja vain boorihapolla kyllästetyissä koekappaleissa 2 %. Koe osoitti ligniinien valinnan tärkeyden booriyhdisteiden valmistuksessa. (2,7312 - 7322.)

## **8.10 Höyryboorikäsittely (VBT) orgaanisilla booriyhdisteillä ja boorihapolla**

Boorikäsittelyssä on höyrykäsittelyllä hyviä vaikutuksia puun mittapysyvyyteen. Höyrykäsittelyssä käytetään trimetyylihoraattia, joka jää puuhun kuivauksen aikana. Menetelmän ongelmana on trimetyylihoraatin kallis hinta ja metanolin kanssa työskentely, joka vaikeuttaa työntekijöiden työolosuhteita. Höyrykäsittelyllä on saatu vähennettyä boorin huuhtoutumista. Höyrykäsittelyn

on kuitenkin todettu vähentävän OSB;n MDF;n ja kertopuun taivutuslujuutta yli 1 % BAE -arvoissa. (2,7312 - 7322.)

### 8.11 Polymerointi

Boorin huuhtoutumisen vähentämisessä tärkeimmäksi seikaksi on osoittautunut veden pääsyn rajoittaminen puuhun. Puun kyllästämässä on käytetty sekoitusta, jossa on alkoholia ja kolmea eri booriyhdistettä: boorihappoa, ammoniakkiboraattia ja ammoniakkiborataa. Kokeissa on havaittu boorin huuhtoutumisen vähenemistä ja parempaa homeen ja lahon kestoa sekä tehokasta termiittien vastuskykyä. Samoilla aineilla tehdyssä kokeessa todettiin dramaattista boorin huuhtoutumisen vähenemistä ja suurempaa vastustuskykyä termiittejä, lahoa ja hometta vastaan kuin ainoastaan boorihapolla kyllästetyillä koekappaleilla. (2,7312 - 7322.)

Vinyylimanometreja on käytetty puun kyllästyksessä täyttämään kapilaarit ja tyhjät tilat polymerisoinnin jälkeen. Boorihapolla käsitellyillä ja sen jälkeen vinyylimanometreilla impregnoituilla koekappaleilla on todettu vähemmän boorin huuhtoutumista kuin yksinomaan boorihapolla käsitellyillä koekappaleilla, ja sillä on saavutettu täydellinen mittapysyvyys. Menetelmän ongelma on liian suuri manometripitoisuus, jolla saavutetaan boorin liikkumattomuus. Ongelmaa on pyritty ratkaisemaan mekaanisella kuumapuristuksella polymerisoinnin aikana. Menetelmällä on saatu vähennettyä boorin huuhtoutumista. (2,7312 - 7322.)

Vuonna 1999 Kamden syntetisoi polyesteriboraatin ja polyeteeniglykoolialkoholien. Tällä värittömällä ja vakaalla esterillä methylenediphenylisocyanate (MDI) painekyllästetyillä koekappaleilla tehdyillä kokeilla todettiin boorin huuhtoutumisen olevan minimaalista. (2,7312 - 7322.)

### 8.12 Proteiini ja tanniini sitominen

Boraatit voi sitoa puuhun proteiineilla, jotka on tuotettu eläimistä tai kasviksista. Yhdistelmässä puuhun sidottu boori poistuu hitaasti puusta. Boorihapolla, gelatiinilla ja tanniinilla boorin huuhtoutuminen on saatu kohtalaisen vähäiseksi. (2,7312 - 7322.)

### 8.13 Puun fyysisten olosuhteiden muuttaminen

Booria on pyritty pitämään puussa muuttamalla höyry puristamalla kappaleita, joissa on jo booria. Menetelmässä puristetaan kuumassa höyryssä olevia kappaleita oikeaan dimensioon. Menetelmä on lähinnä vaihtoehto kemiallisten menetelmien rinnalle. (2,7312 - 7322.)

### 8.14 Boori-silikoniyhdisteet

Kokemukset puun reagoinnista silikonin yhdisteiden kanssa, jotka matkivat puun luonnollisia ominaisuuksia, ovat olleet lupaavia. Ratkaisut, joissa silikaatteja on käytetty boorinsitomiseen puuhun huuhtoutumisen estämiseksi, on tutkittu useassa eri tutkimuksessa. Tutkimukset ovat osoittaneet silikaattihapon ja boorihapon antavan puulle hyvän suojan termiittejä ja lahottajasieniä vastaan ja osoittaneet puukappaleiden olevan lähes vedenkestäviä. Tutkimuksessa olleilla silikonin- ja boorielementeillä saatiin vähennettyä boorin huuhtoutumista puusta. (2,7312 - 7322.)

### 8.15 Boori lisäaineena muissa yhdisteissä

Vaikeudet löytää boorille kaava, josta sitä ei huuhtoudu pois on johtanut siihen, että sitä on alettu käyttää kyllästysaineissa, missä boori on vain yksi aineosa. Booriyhdisteitä on käytetty tehostamaan kuparipohjaisten kyllästeiden vastustuskykyä kuparia sietäviä sieniä vastaan. Kupari-etanoli-booriyhdisteen on osoitettu vähentäneen kuparin muutoksia huuhtoumakokeissa, mutta parantaneen kuparia sietävien sienten torjuntaa. Boori on ollut merkittävässä roolissa yrittäessä löytää korvaavaa ainesosaa CCA-kyllästeeseen. Booria on käytetty kupari-kromi-boorikylläste (CCB). Booria ei ole saatu kiinnitettyä kyllästyksessä, ja se on huuhtoutunut suurissa määrin pois puusta, kuparin ja kromin jäädessä puuhun. Toisessa tutkitussa kaavassa ammonium-kupari-boraatti (ACB) booria on huuhtoutunut vähemmän kuin CCB-kyllästeessä. (2,7312 - 7322.)

### **8.16 Boorihapon ja mäntyöljyn seos**

Vuonna 2007 tehdyssä tutkimuksessa tutkittiin boorimäntyöljykyllästystä kahdella eri booripitoisuudella, jotka olivat 1 % ja 2 %, sekä neljällä erilaisella mäntyöljyjohdannaisella. Kokeessa tutkittiin kyllästeiden tehokkuutta lahoa vastaan sekä mitattiin niiden huuhtoutumista puusta. (20, 2102 - 2106.)

Tutkimuksessa kyllästeitä käytettiin erikseen ja yhdistettynä. Lahotuskokeet tehtiin koekappaleille huuhtoumakokeen jälkeen sekä koekappaleille joille ei tehty huuhtoumakoetta. Pelkästään mäntyöljyllä kyllästetyillä koekappaleilla oli vastustuskykyä lahoa vastaan, mutta ei tarpeeksi yltääkseen kyllästeiltä vaadittaviin luokkiin. (20, 2102 - 2106.)

Boorihapolla kyllästetyillä koekappaleilla oli vastustuskykyä lahoa vastaan ennen huuhtoumakoetta, muttei sen jälkeen. Boorihapon ja mäntyöljyn seoksella kyllästetyillä koekappaleilla todettiin hyvää vastustuskykyä lahoa ja hometta vastaan sekä huuhtouma että huuhtoutumattomilla koekappaleilla. (20, 2102 - 2106.)

Kokeessa testatulla yhdistelmäkyllästeellä todettiin olevan parempia ominaisuuksia lahoa ja hometta vastaan kuin pelkällä mäntyöljykyllästeellä sekä samanlaisia tai parempia ominaisuuksia kuin boorihapolla kyllästetyillä koekappaleilla. (20, 2102 - 2106.)

Huuhtoumakokeen jälkeen parhaaksi osoittautuneessa kyllästyksessä mäntyöljyn hartsihappopitoisuus oli 90 % ja boorihappopitoisuus oli 2 %. Koe osoitti parhaan vastustuskyvyn lahoa vastaan. Puusta hävisi kokeiden aikana vain 3 %. Parhaaksi osoittautuneessa kyllästyksessä boorin liukeneminen oli vähäistä, joka auttoi puun suojaamisessa. (20, 2102 - 2106.)

## **9 KOKEELLINEN OSA**

Tutkimuksen sahatavaran kyllästys- ja sääkaappikoe suoritettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa ja EN 84 mukainen huuhtoumakoe tehtiin Mikkelissä. Sahatavaran booripitoisuus testattiin Novalab Oy:n



laboratoriossa Karkkilassa, josta sain tiedot keskiarvona koekappaleiden booripitoisuudesta.

Samasta puutavaraerästä tehtiin myös kaksi rinnakkaista 20 kappaleen koesarjaa booripitoisuuden mittaamista varten kyllästysprosessin jälkeen. Koekappaleet olivat mitoiltaan 15 x 25 x 50 mm. Ensimmäinen sarja lähetettiin suoraan Novalabille ja toinen Mikkeliin EN 84 -huuhtoumakoetta varten. Mikkeliin EN 84 -kokeeseen menevät koekappaleet lähetettiin myös Novalabille booripitoisuuden mittaamista varten huuhtoumakokeen jälkeen. Kokeen jokaisessa vaiheessa laudoista mitattiin paino ja pituus ennen koepalan ottamista ja sen jälkeen. Koekappaleet otettiin heti kyllästyksen jälkeen, kuivauksen jälkeen sekä tasaannutuksen jälkeen ennen ja jälkeen sääkaappia.

## 9.1 Koemateriaalin valmistus

Kokeessa kyllästettiin kaksikymmentä lautaa, joiden pituus oli 3283 – 3873 mm. Kokeeseen valitut laudat olivat samasta sahatavaraerästä, ja niissä oli mahdollisimman pieni sydänpuuosuus parhaan kyllästysaineen tunkeuman saavuttamiseksi. Laboratoriohenkilökunta oli höylännyt laudat vastaamaan terassilaudan dimensiota 28 x 95 mm, ja ne oli tasaannutettu sisätiloissa höyläyksen jälkeen. Ennen kyllästyksen aloittamista laudoista otettiin paino, pituus ja koepalat tiheyden määrittämistä varten. Saaduilla tuloksilla lautojen keskimääräinen kosteus oli 10,5 % ja keskimääräinen tiheys oli 455 kg/m<sup>3</sup>. Koemateriaali numeroitiin niin että ensin on koekyllästyksen järjestysnumero ja sen jälkeen laudan numero.

## 9.2 Kyllästysaine

Kyllästyskokeessa käytetty kyllästysaine oli trimetyylihoraatti B(OCH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>. Kyllästysaineella ja sideaineilla pyritään sitomaan boori puunsolukoihin kuivauksen jälkeen huuhtoutumisen estämiseksi. Kyllästysaineessa on myös metanolia, jotta aine imeytyy puun sisälle paremmin, sekä sitä syntyy puun reagoidessa TBA:n kanssa. Kyllästysaineessa trimetyylihoraatti reagoi puun kosteuden kanssa:  $B(OCH_3)_3 + 3 H_2O \rightarrow H_3BO_3 + 3 CH_3OH$ , jolloin haihdutuksessa liuotin häviää ja sideaine kovettuu puun sisälle.

### 9.3 Paineekyllästys

Kokeeseen kyllästettävät laudat kyllästettiin tyhjasolumenetelmällä eli Rüping-menetelmällä. Kyllästysprosessin aikana laudoista otettiin eri vaiheissa paino ja koepaloja boorin tunkeutumisen ja pysymisen varmistamiseksi. Koepalat otettiin boorin huuhtoutumisen tutkimiseksi heti kyllästyksen jälkeen ja kuivauksen jälkeen, jotta nähtiin, huuhtoutuuko booria pois jo kyllästysvaiheessa.

Kyllästyksessä käytettiin taulukon mukaista kyllästysohjelmaa:

Taulukko 1. Kyllästysohjelma

Prosessi	Paine (bar)	Lämpötila (C°)	Aika (min)
Alkupaine	5,9	17	8
Paine	7,2	17	80
Lopputyhjiö	-0,95	17	5
Jälkikäsitteily	-0,95	17	1140

### 9.4 EN 84

EN 84 on Eurooppalainen standardi kemiallisesti käsitellyn puun nopeutetusta vanhentamisesta ennen laboratoriokokeita ja huuhtoumakokeen menettelyohje. Kokeessa käytetyt koekappaleet ovat mitoiltaan 50 x 25 x 15 mm. EN 84 -kokeessa koekappaleet kyllästetään vedellä niin, että koekappaleet ovat koko ajan veden pinnan alla. Kyllästyksen ajan koekappaleet ovat painesäiliössä 4 kPa:n tyhjiössä 20 minuuttia. Tyhjiön jälkeen paine vapautetaan ja koekappaleiden annetaan liota vedessä kaksi tuntia vedessä tyhjiön jälkeen.

Kyllästyksen jälkeen koekappaleita liotetaan vedessä kaksi viikkoa  $20 \pm 2$  °C:n vedessä. Tuore vesi vaihdetaan ensimmäisen ja toisen päivän jälkeen sekä vesi vaihdetaan lopun 12 päivän aikana seitsemän kertaa, kuitenkin niin että vaihtoväli ei ole vähempää kuin yksi päivä ja enintään kolme päivää.

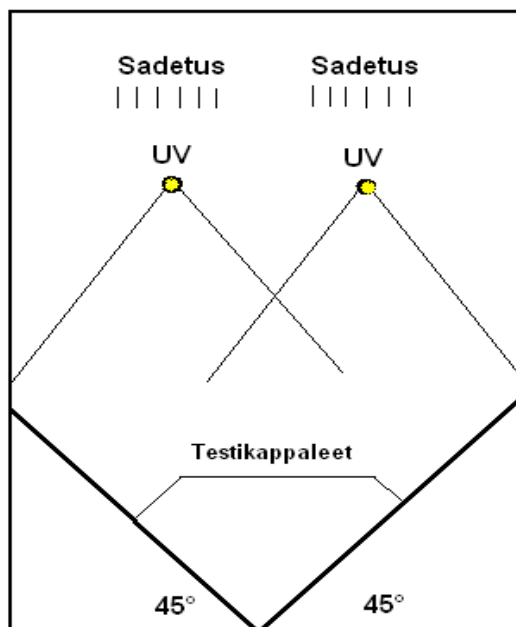
Kyllästyksen ja liotuksen jälkeen koekappaleet kuivataan tasaannutushuoneessa vähintään kaksi viikkoa tai niin kauan, kuin koekappaleiden vuorokauden painonmuutos on enintään 0,1 g.

### 9.5 SÄÄKAAPPIKOE

Samoista kyllästetyistä laudoista tehtiin myös sääkaappikoe, jolla pyrittiin selvittämään huuhtoutuuko boori pois ulkoilmaa vastaavissa olosuhteiden muutoksissa ja jos huuhtoutuu, kuinka paljon. Sääkaappikokeella tutkitaan myös koekappaleille aiheutuvat ulkoiset muutokset sateessa, pakkasessa ja auringonvaloa vastaavassa UV-valossa.

Sääkaappikokeessa koekappaleiksi valittiin kymmenen tiheydeltään erilaista boorikäsiteltyä koekappaletta sekä referenssiksi valittiin samasta sahatavara erästä kymmenen käsittelemätöntä koekappaletta. Sääkaappiin menevistä laudoista otettiin koepalat booripitoisuuden tutkimista varten ennen sääkaappikoea ja sen jälkeen tasaannutetuista koekappaleista. Sääkaapissa olleista koekappaleista mitattiin syklien päätyttyä paino, jolloin pystyttiin seuraamaan koekappaleiden painonmuutosta.

Sääkaappikokeessa käytettyjen koekappaleiden pituus oli 700 mm, ja ne asetettiin vinosti pystyyn  $45^\circ$ :n kulmaan sääkaappiin. Ennen sääkaappikoea koekappaleita tasaannutettiin Rh 65 %  $20^\circ\text{C}$  -huoneessa kaksi viikkoa. Kuvissa 3 ja 4 esitetään miten koekappaleet sijoitettiin sääkaappiin.



Kuva 3. Sääkaappi



Kuva 4. Sääkaappi

Sääkaapissa olevat koekappaleet V1-V10 olivat vertailukappaleita ja numeroidut koekappaleet olivat kyllästyksessä olleista laudoista. Koekappaleet aseteltiin ylhäältä katsottuna taulukon 2 mukaiseen järjestykseen.

Taulukko 2. Koekappaleiden järjestys sääkaapissa.

6,17	V1
V6	6,1
6,18	V2
V7	6,8
6,16	V3
V8	6,2
6,7	V4
V9	6,9
6,4	V5
V10	6,11

Sääkaappikokeessa suoritettujen olosuhteiden olivat seuraavat:

Alkutasannutus 2 viikko:  $T = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 65\%$

Kosteaa ilmaa/ sadetus 1 vrk:  $T = 20\text{ °C}$ ,  $RH = 90\%$ , 1 minuutin sadetus vesimäärä noin  $2,5\text{ l/m}^2$  kerran tunnissa.

Pakastus 1 vrk:  $T = -10\text{ °C}$ ,

Kuiva ilma/UV-säteilytys 1 vrk  $T = 80\text{ °C}$ ,  $RH = n. 15\%$ , UV-säteilytys koko ajan lampun tehon ollessa n. 300 W, josta näkyvän valon osuus on 41 W ja UV-valon 17 W per lamppu. säteilyn intensiteetti riippuu säteilykulmasta ja etäisyydestä.

Ensimmäinen räsitys sykli oli kestoaltaan kolme vuorokautta. Ensimmäisen syklin jälkeen koekappaleista arvioitiin koekappaleiden ulkonäköön tulleet muutokset. Ensimmäisen syklin jälkeen tulleet muutokset olivat pieniä ja koetta jatkettiin pidemmällä sykleillä.

Kostea ilma/sadetus 3 vrk:  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $RH = 90\%$ , 1 minuutin sadetus vesimäärä noin  $2,5\text{ l/m}^2$  kerran tunnissa.

Pakastus 1 vrk:  $T = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Kuiva ilma/UV-säteilytys 3 vrk  $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $RH = n. 15\%$ .

Pidempien syklien jälkeen koekappaleista arvioitiin niiden ulkonäkö ja niille tapahtuneet muutokset. Sääkaappikokeen jälkeen koekappaleita tasaannutettiin 2 viikkoa olosuhteissa  $RH = 65\%$  ja  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , minkä jälkeen niistä otettiin koekappaleet 100 mm:n etäisyydeltä alapäästä booripitoisuuden mittaamista varten.

## 10 TULOKSET

### 10.1 Booripitoisuus

#### 10.1.1 Booripitoisuus EN 84 huuhtoumakokeen jälkeen

EN 84 kokeen 2 erillistä sarja olivat kooltaan  $15 \times 25 \times 50\text{ mm}$ . Ennen huuhtoumakoetta koekappaleet sisälsivät booria  $7,69\text{ g/kg}$  ja huuhtoumakokeen jälkeen vain  $0,41\text{ g/kg}$ .

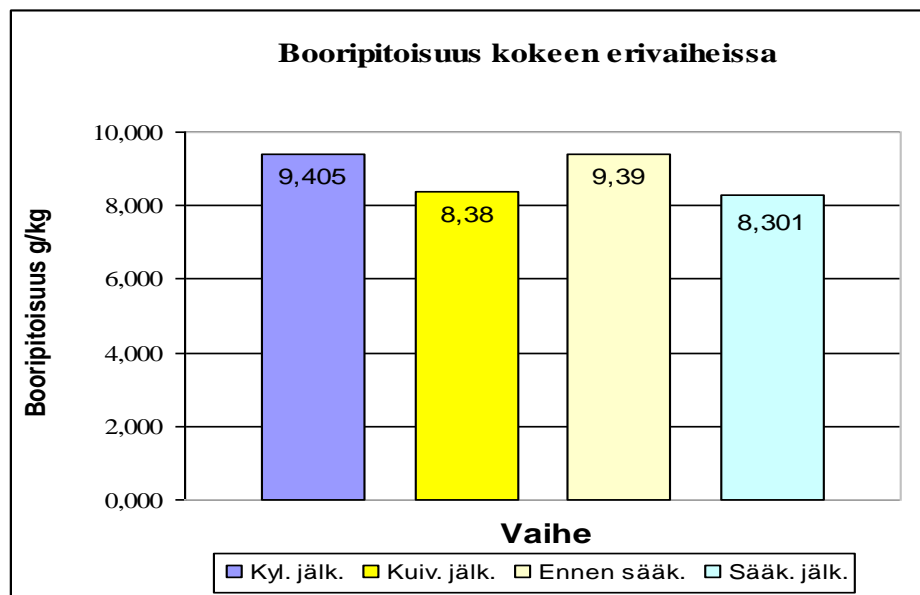
#### 10.1.2 Booripitoisuus sääkaappikokeen eri vaiheissa.

Kokeen eri vaiheissa saatiin taulukon 3 mukaisia booripitoisuusarvoja.

Taulukko 3. Koekappaleiden booripitoisuuden muutokset kokeen aikana

VAIHE	Paino g/Kg	Muutos alkup. ( g )	Muutos alkup. %
Kyllästyksen jälkeen	9,405		
Kuivauksen jälkeen	8,38	-1,03	-10,90
Ennen sääkaappia	9,39	-0,015	-0,2
Sääkaapin jälkeen	8,301	-1,109	-11,79

Kyllästyksen jälkeen sekä kuivauksen jälkeen otetut koekappaleet on otettu pitkistä laudoista. Ennen ja jälkeen otetut koekappaleet on otettu lyhyemmistä sääkaappiin menevistä laudoista.

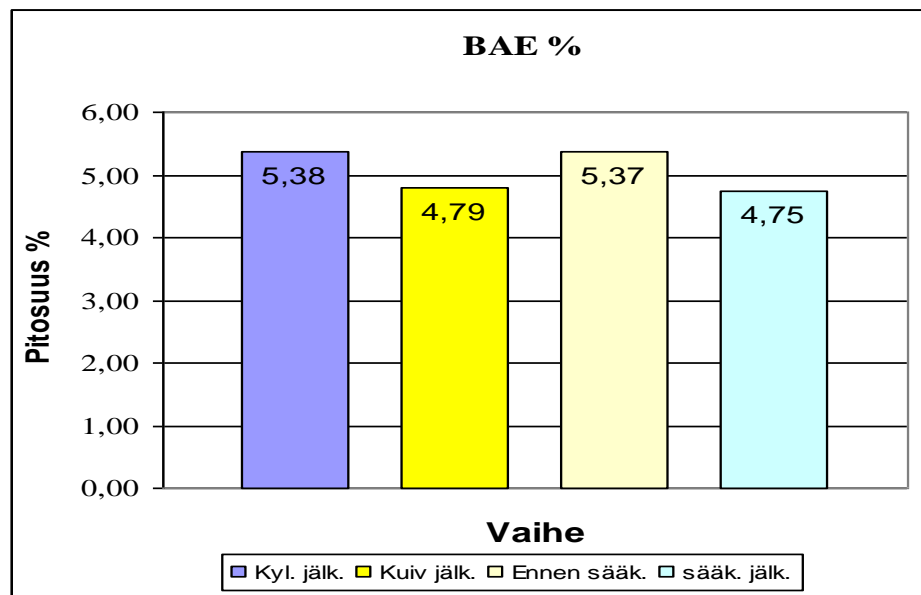


Kuva 5 Booripitoisuudet.

Kuvasta 5 selviää, että laudoissa olevan boorin määrä oli kyllästytksen jälkeen 9,405 g/kg ja kuivauksen jälkeen 8,38 g/kg sekä ennen sääkaappikoetta 9,39 g/kg, joka laskettiin tuloksista saaduista arvoista painotuksella (2 x ESR1 + 3 x ESR2 + 3 x ESR3 + 2 x ESR4) ja sääkaappikokeen jälkeen 8,301 g/kg (2 x JSR1 + 3 x JSR2 + 3 x JSR3 + 2 x JSR4), näistä laskettiin koekappaleiden BAE arvo kaavalla:

$$\frac{\text{boorihapon moolimassa}}{\text{boorin moolimassa}} \times \text{booripitoisuus} = \text{BAE}$$

BAE -prosentiksi saatiin kyllästytksen jälkeen 5,38 % sekä kuivauksen jälkeen 4,79 % ennen sääkaappikoetta 5,37 % ja sääkaappikokeen jälkeen 4,75 %. (Kuva 6).



Kuva 6. Koekappaleiden BAE- arvot

### 10.1.3 TBA-kyllästeen kustannuksia

Kyllästysaineella saatujen arvojen perusteella on laskettu kustannus AB-luokan kyllästetyille laudoille. Kustannukset on laskettu 0,8 %- BAE-pitoisuudella.

$0,8 \text{ m- \%} = 4,0 \text{ kg/m}^3$  boorihappoa (puu  $500 \text{ kg/m}^3$ )

$4,0 \text{ kg BH} = 6,725 \text{ kg TMB} = 9,34 \text{ Kg TMBA}$

Sideainetta lasketaan tarttuvan  $3 \times \text{BAE}$

eli  $12 \text{ kg/m}^3$  (arvo saatu koekyllästyksestä 2)

Hinnat  $2\text{€/kg} \times 9,34 = 18,68 \text{ €/m}^3$

$+ 0,8\text{€/kg} \times 12 = 9,6 \text{ €/m}^3$

**yhteensä 28,28 €/m<sup>3</sup>.**

Kyllästysaineella saatujen arvojen sekä oletettujen pitoisuuksien perusteella laskettu kustannus A-luokan kyllästetyille laudoille.

Laskelmissa on oletettu, että 50 % laimennettu boori antaisi 50 % pienemmät kyllästyspitoisuudet.

Lisäksi oletetaan, että A-luokka vaatisi  $2 \times$  booria kuten kuparikyllästeillä.

$\text{BAE } 1,6 \text{ m- \%} = 8,0 \text{ kg/m}^3$  boorihappoa (kyllästys 4:stä puolet)

$8,0 \text{ kg BH} = 13,45 \text{ kg TMB} = 18,68 \text{ kg TMBA}$

Sideainetta 42 kg/m<sup>3</sup> (kyllästys 4:stä puolet)

Hinnat 2€/kg X 18,68 = 37,4 €/m<sup>3</sup>

+ 0,8 €/kg X 42 = 33,6 €/m<sup>3</sup>

**yhteensä 71 €/m<sup>3</sup>.**

#### **10.1.4 Kappaleiden massa- ja ulkonäkömuutokset sääkaappikokeen aikana**

Sääkaappikoe tehtiin laudoille, jotka olivat mitoiltaan 28 x 95 x 700 mm. Kuvassa 7-9 esitetään sääkaapissa olleita lautoja.



Kuva 7. Koekappaleet ennen sääkaappikokea



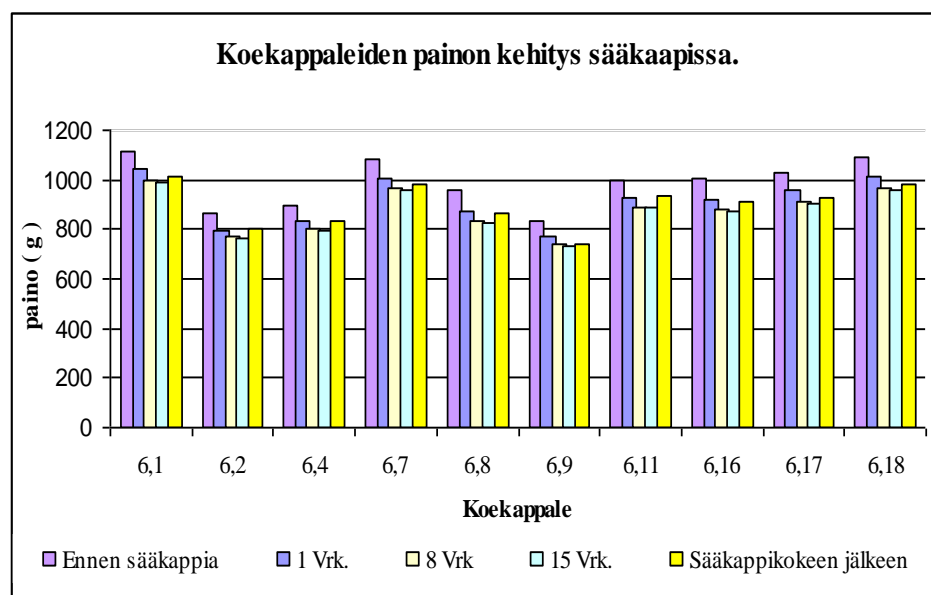
Kuva 8. Oikean puolen koekappaleet sääkaappikokeen jälkeen



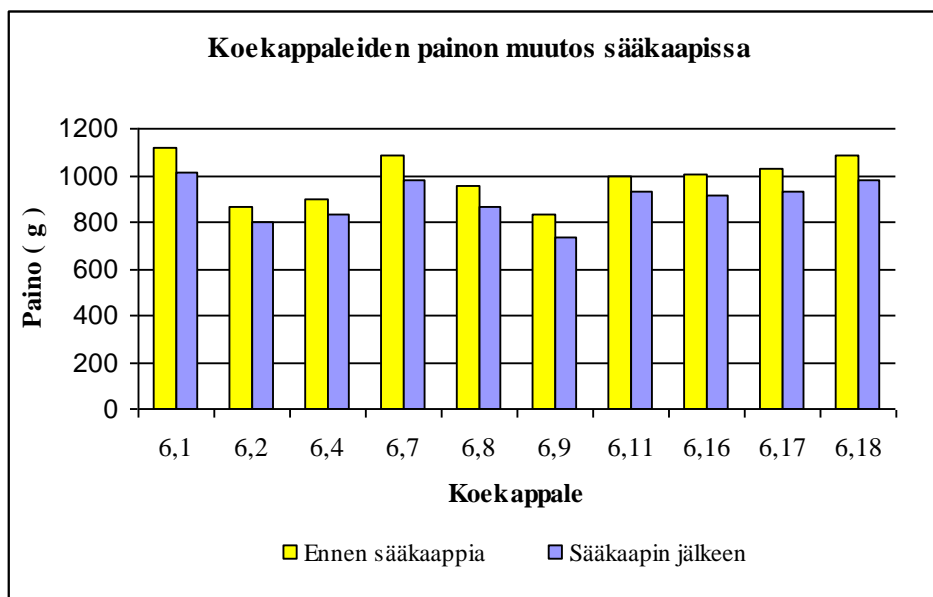


Kuva 9. Vasemman puolen koekappaleet sääkaappikokeen jälkeen

Sääkaapissa olevista koekappaleista otettiin paino jokaisen vaiheen jälkeen, jotta saatiin selville koekappaleiden painon muutokset. Alku- ja loppupaino on otettu tasaannutuksen jälkeen. (Kuvat 10 ja 11.)



Kuva 10. Kyllästettyjen lautojen painon muutokset sääkaappikokeessa



Kuva 11. Kyllästettyjen lautojen paino ennen ja jälkeen sääkaappia

## 11 TULOSTEN TARKASTELU

### 11.1 Pienet erilliset koekappaleet

Pienillä koekappaleilla tehdyssä EN 84 -kokeessa suurin osa boorista huuhtoutui pois. Alkuperäisestä 7,69 g/kg huuhtoutui suurin osa pois. Koekappaleihin jäi vain 0,41 g/kg, jolloin booria oli jäljellä 5,3 % alkuperäisestä.

### 11.2 Booripitoisuus

Kokeessa olleiden koekappaleiden lopullinen booripitoisuus oli hyvä verrattuna muiden maiden pitoisuusvaatimuksiin. Nyt testatuilla koekappaleilla lopullinen BAE -arvo on 4,75 %, joka on huomattavasti korkeampi kuin Uudessa-Seelannissa vaadittava 0,8 %:n BAE -arvo.

EN 84 -kokeen ja sääkaappikokeen erilaiset booripitoisuustulokset johtuvat kokeiden erilaisuudesta. Sääkaappikokeessa olleet koekappaleet kastuivat vain laudan toiselta puolelta, jolloin vesi valui pois puun pinnasta nopeammin. Sääkaappikokeessa vettä tuli 2,5 l/m<sup>2</sup> kerran tunnissa 1 minuutin ajan kerrallaan.

EN 84 kokeessa koekappaleet olivat koko pinta-alaltaan veden peitossa. Kokeen eri vaiheissa vesi tunkeutuu paremmin puun sisälle huuhdellen puun solukkoja.

### 11.3 Kustannukset

Kyllästyksessä saatujen arvojen perusteella laskettu kyllästyksen hinta on kilpailukykyinen kuparikyllästeisiin verrattuna. Boorikyllästeen hinnaksi saatiin laskennallisesti 28,28 €/m<sup>3</sup>, joka on samaa hintaluokkaa kuparikyllästeiden kanssa. A-luokan boorikyllästeenä maksaa 71 €/m<sup>3</sup>, joka on kallis verrattuna kuparikyllästeisiin.

### 11.4 Sääkaappi

Sääkaapissa tulleet pinnalliset muutokset kuten pintahalkeilut ja oksien tummuminen olivat kyllästetyillä sekä kyllästämättömillä koekappaleilla hyvin samanlaiset.

Sääkaapissa olleista kyllästetyistä laudoista pystyi havaitsemaan muutamia poikkeuksia. Sääkaapissa olleet kyllästetyt koekappaleet olivat tummuneet tai kellastuneet enemmän kuin referenssikappaleet, koska kyllästetyt koekappaleet sisälsivät lisäainetta. Kyllästettyjen lautojen oksista oli valunut pihkaa selvästi enemmän kuin referenssilautoista, mikä myös johtuu TBA:n lisäaineesta. Kyllästettyjen lautojen oksista oli myös tihkunut valkoista ainetta, se saattoi olla booria, joka tuli ulos lisäaineen avulla. Kokeen aikana kyllästettyjen lautojen pintaan vesi muodosti pisaroita, jotka helmeilivät sadetuksen aikana puun pinnalla. (Kuvat 12-14.)



Kuva 12. Sääkaapissa tummuneet kyllästetyt koekappaleet



Kuva 13. Sääkapissa olleista koekappaleista valunutta pihkaa



Kuva 14. Sadetuksen aikana laudan pinnalle muodostuneita vesipisaroita

## 12 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kyllästetyt koekappaleet sisälsivät sääkaapin jälkeen enemmän booria kuin Uuden-Seelannin standardit vaativat. Kyllästysaine pysyi puussa hyvin kyllästykseen aikana ja sääkaappikokeessa. EN 84 kokeessa olleista koekappaleista suurin osa boorista huuhtoutui pois.

Boorikylläste soveltui AB-luokan kyllästeeksi, ja prosessissa käytetyn boorin määrää voisikin vähentää, koska AB-luokan kyllästysaste saavutetaan pienemmällä booripitoisuudella. A-luokan kyllästeeksi kyseessä oleva koostumus ei soveltunut, mutta periaatteessa sellainen koostumus on

mahdollista valmistaa. Silloin kuitenkin kyllästeen hinta nousee liian korkeaksi verrattuna kuparikyllästeisiin.

Kokeessa käytettiin sideainetta  $12 \text{ kg/m}^3$  AB-luokan kyllästyksen saavuttamiseksi. Kokeiden perusteella kyllästysaineen sideainepitoisuutta tulisi nostaa suuremmaksi boorin paremman sitomisen saavuttamiseksi. Mäntyboorihappo-tutkimuksessa käytettiin mäntyöljyä sidosaineena n.  $200 \text{ kg/m}^3$ . (20, 2102 – 2106.)

Koekappaleille sääkaappikokeessa saavutetut tulokset olivat hyvät, koska kyllästetty puu tummui vain vähän enemmän kuin kyllästämättömät vertailukappaleet ja halkeamat olivat molemmissa ryhmissä samanlaiset. Kyllästetyissä koekappaleissa oksat tummuivat enemmän ja niistä valui pihkaa enemmän kuin kyllästämättömistä. Kyllästetyillä koekappaleilla suurimmaksi ongelmaksi voi muodostua lautojen pinnan tahmeus ja ulkonäkö kyllästyksen jälkeen. Ulkonäköä voidaan parantaa kyllästeen koostumuksella ja jälkikäsittelyllä, jotta ulkonäkö vastaa asiakkaiden haluamia tarpeita.

Kustannuksiltaan TBA on kilpailukykyinen kuparikyllästeisiin verrattuna. Kuution kyllästäminen maksaa TBA -kyllästeellä  $28,28 \text{ €/m}^3$  kyllästepitoisuuden ollessa 0,8 % BAE, kun taas kuparikyllästeet maksavat noin  $30 \text{ €/m}^3$ . A-luokan kyllästys TBA:lla maksaa  $70 \text{ €/m}^3$ , eli se ei ole niin edullinen kuin kuparikyllästeillä suoritettava A-luokan kyllästys.

Boorikyllästys sopii maanpinnan yläpuolisiin kohteisiin, mutta ei kohteisiin, joissa se joutuu tekemisiin juoksevan tai seisovan veden kanssa. Saavutettujen tulosten perusteella kyllästysaine ei sovellu A-luokan vaatimiin kyllästyskohteisiin, kuten pylväisiin tai ratapölkkyihin.

## LÄHTEET

1. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Tutkimusjulkaisu, 12/2006
2. Obanda D, Shupe T, Barnes H: Reducing leaching of boron-based wood preservatives – A review of research. Science Direct, ss. 7312–7322, 2007.
3. Kestopuuteollisuus Ry, internetsivut. Saatavissa: [www.kestopuu.fi/56.html](http://www.kestopuu.fi/56.html) [viitattu 7.4.2010].
4. Suolahti O, 1961. Laho ja sen torjunta. WSOY.
5. Jääskeläinen Anna - Stiina & Sundqvist Henna 2007, Puun rakenne ja kemia. Otatieto, Helsinki 2007.
6. Venäläinen Martti 2002, Decay resistance of heartwood timber as a quality characteristic in Scots pine breeding, Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 880, METLA 2002.
7. Nuutinen Erkki 1976. Puun kyllästävyyteen vaikuttavat tekijät ja kyllästävyyden parantaminen. VTT – Puutavaralaboratorio, tiedonanto 15. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT).
8. RT H-37192.2006. Paine-kyllästetty puutavara. Helsinki. Kestopuuteollisuus Ry
9. Milloin tarvitaan kyllästettyä puuta, Esite. Lahontorjuntayhdistys ry. 2003.
10. Lahontorjuntayhdistys Ry. 1988. Puunsuojaus. Helsinki. Kestopuuteollisuus Ry.
11. Hamel, Margaret, Robertson, Doris. First international conference on wood protection with diffusible preservatives. Nashville, Tennessee 1990, Forest products research society, proceeding).
12. WSJ Sanitation, internet sivut. Saatavissa:  
[www.wsj.fi/?Rakennusten\\_saneeraukset:Ainutlaatuinen\\_suoja-aineemme](http://www.wsj.fi/?Rakennusten_saneeraukset:Ainutlaatuinen_suoja-aineemme)[viitattu 7.4.2010]
13. Wikipedia tietosanakirja, internetsivut. Saatavissa: [fi.wikipedia.org/wiki/Boori](http://fi.wikipedia.org/wiki/Boori); [fi.wikipedia.org/wiki/Boorihappo](http://fi.wikipedia.org/wiki/Boorihappo); [fi.wikipedia.org/wiki/Booraksi](http://fi.wikipedia.org/wiki/Booraksi); [fi.wikipedia.org/wiki/Boraatti](http://fi.wikipedia.org/wiki/Boraatti)[viitattu 7.4.2010].

14. Standardi, NZS 3602: 2003. Uusiseelantilainen standardi kyllästetyille tuotteille rakennus käytössä.
15. WAG Postprints-San Diego, 1997, Treatment of a labyrinth: Addressing decay and losses in a large outdoor wood sculpture located in public place.
16. Lee S, Qinling W, Smith W, 2004. Famosan subterrean termite resistance of borate-modified strandboard manufactured from southern wood species: laboratory trial. Wood and Fiber science, Society of Wood Science and Technology, ss. 107-118.
17. Townsend T, Dubey B, Solo-Gabriele H, 2005. Assesning potential disposal impact from preservative treated wood products, Departmen of civil, Architectural and environmental engineering, University of Miami.
18. Rikala R, Vuorinen M, 1/2005. Boorin levitysajankohdan vaikutus kivennäismaan kuusikon neulasten booripitoisuuteen. Metsätieteen aikakausikirja, tiedonanto, ss. 51-56
19. Kemira Oy, internetsivut, Saatavissa: [www.kemira.com/fi](http://www.kemira.com/fi) [viitattu 7.4.2010]
20. Temiz A, Alfredssen G, Eikenes M, Terviez N: Decay resistance of wood treated with boric acids and tall oil derivates. Science Direct, ss. 2102-2106. 2007.
21. standardit EN 335-1ja EN 351-1 sekä NTR Dokumentti nro. 1:1998 Pohjoismaiden puunsuojausneuvoston asiakirja puunsuoja-aineen tunkeumasta sekä esitettyihin käyttöluokkiin.

## LIITTEET

Liite 1

## TUTKIMUSRAPORTTI N:o K 147/10/1-4

(1/1) K 147/10/1-4

Tilaaja Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu Laskutus Kemira Oyj / Risto Rahkola  
 Pl 9 Harmajantie 3  
 48401 Kotka 32740 Sastamala

Tilaus Tilaus / Matti Kokko, Hannu Boren, [hannu.boren@kyamk.fi](mailto:hannu.boren@kyamk.fi)

Tulopäivä 3.2.2010

Analysoinnin aloituspäivä 8.2.2010

Tehtävä Kyllästysaineen tunkeuman sekä näytteen booripitoisuuden määrittäminen.

Näyte Poikkileikenäytteitä neljä sarjaa boorilla kyllästetystä puutavarasta.

## Analyysimenetelmä

Näytteistä analysoitiin pintapuun osuus värjäysmenetelmällä NWPC Document no. 3:1998 ohjeen mukaan. Pintapuusta määritettiin booripitoisuus plasmaemissiospektrometrillä  $\text{HClO}_4$ - $\text{HNO}_3$ - märkäpolton jälkeen(menetelmä: Novalab 003\* ). Pintapuukerros otettiin kokonaan talteen boorianalyysiä varten.

Tulokset Tulokset on laskettu näytteen kuiva-aineeseen

Leike	boori g/kg
1/ 6.1-6.10 musta	6,91
2/ 6.11-6.20 musta	11,90
3/ 6.1-6.10 punainen	6,76
4/ 6.11-6.20 punainen	10,00

Karkkila 25.2.2010

Novalab Oy

\_\_\_\_\_

Matti Mäkelä

laboratorionjohtaja

Raportin osittainen kopiointi on kielletty ilman laboratorion lupaa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille.



**TUTKIMUSRAPORTTI N:O K 445/10/1-8**

(1/1) K 445/10/1-8

Tilaaja Kymenlaakson Ammattikorkeakoulu

Laskutus Kemira Oyj / Risto Rahkola

Pl 9

Harmajantie3

48401 Kotka

32740 Sastamala

Tilaus Tilaus / Matti Kokko, Hannu Boren, [hannu.boren@kyamk.fi](mailto:hannu.boren@kyamk.fi)

Tulopäivä 1.4.2010

Analysoinnin aloituspäivä 8.4.2010

Tehtävä Kyllästysaineen tunkeuman sekä näytteen booripitoisuuden määrittäminen.

Näyte Poikkileikenäytteitä kahdeksan sarjaa boorilla kyllästetystä puutavarasta.

## Analyysimenetelmä

Näytteistä analysoitiin pintapuun osuus värjäysmenetelmällä NWPC Document no. 3:1998 ohjeen mukaan. Pintapuusta määritettiin booripitoisuus plasmaemissiospektrometrillä  $\text{HClO}_4\text{-HNO}_3$ -märkäpolton jälkeen( menetelmä: Novalab 003\* ). Pintapuukerros otettiin kokonaan talteen boorianalyysiä varten.

Tulokset Tulokset on laskettu näytteen kuiva-aineeseen

leike	boori g/kg
1/ ESR 1	12,1
2/ ESR 2	7,02
3/ ESR 3	10,5
4/ ESR 4	8,57
5/ JSR 1	10,1
6/ JSR 2	6,61
7/ JSR 3	8,60
8/ JSR 4	8,59

Karkkila 25.4.2010

Novalab Oy

---

 Matti Mäkelä

laboratorionjohtaja

Raportin osittainen kopiointi on kielletty ilman laboratorion lupaa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille

**Kemiran kyllästyksen testauspöytäkirjat**

Laudan paino = L-Paino (g)  
 Koekappallen paino = Paino (g)

**Kyllästys 6**

Prosessi	Paine ( bar)	Lämpötila (C°)	Aika ( min)
Alkupaine	5,9	17	5
Paine	7,2	17	80
Lopputyhjiö	-0,95	17	5
Jälkikäsitteily	-0,95	17	1140

**Vaihe 1. Ennen kyllästystä****Saraja/numero**

	SK	paksuus (mm)	Leveys (mm)	Pituus (mm)	Sydänpuu %	L-Paino (g)
6,1	x	27,45	93,08	3283	0,0	4552
6,2	x	27,57	92,67	3872	0,0	4623
6,3		27,62	93,82	3791	3,4	5788
6,4	x	27,77	93,72	3862	11,3	4908
6,5		27,8	94,51	3634	3,9	5354
6,6		27,98	93,28	3881	22,6	5516
6,7	x	27,63	93,94	3756	13,2	5132
6,8	x	27,63	91,25	3869	0,0	4248
6,9	x	27,5	93,43	3832	3,8	4378
6,10		27,36	92,27	3873	45,1	5416
6,11	x	27,64	93,31	3725	45,1	4969
6,12		27,18	91,28	3794	0,0	4402
6,13		27,66	93,22	3872	78,9	5536
6,14		27,53	92,33	3862	0,0	4502
6,15		27,59	93,24	3764	24,4	4880
6,16	x	27,6	93,15	3625	1,9	4907
6,17	x	27,69	92,45	3845	15,8	5191
6,18	x	27,53	92,04	3876	0,0	5638
6,19		27,65	92,63	3665	0,0	4304
6,20		27,54	92,96	3658	6,6	4393

**Kosteus -ja tiheysnäyte**

Paksuus (mm)	Leveys (mm)	Pituus (mm)	Paino (g)	Kuivapaino (g)	Tiheys(Kg/m <sup>3</sup> )	Kosteus(%)
27,68	92,34	54,61	68,3	61,6	<b>441,32</b>	<b>10,86</b>
27,45	92,08	55,65	63,8	57,93	<b>411,84</b>	<b>10,12</b>
27,83	93,27	56,61	88,9	79,28	<b>539,53</b>	<b>12,15</b>
27,63	92,52	56,27	71,9	64,96	<b>451,60</b>	<b>10,68</b>
27,79	94,31	55,37	75,7	69,08	<b>476,03</b>	<b>9,61</b>
27,73	92,2	56,56	78,6	72,29	<b>499,91</b>	<b>8,66</b>
27,62	93,36	54,96	75,6	69,44	<b>489,98</b>	<b>8,80</b>
27,47	91	53,98	50,3	45,87	<b>339,93</b>	<b>9,64</b>
27,65	92,87	57,59	62,2	56,32	<b>380,84</b>	<b>10,46</b>
27,79	91,42	53,85	68,1	61,74	<b>451,29</b>	<b>10,27</b>
27,53	92,46	55,31	69,2	62,34	<b>442,80</b>	<b>10,97</b>
27,45	91,07	56,69	63,7	57,93	<b>408,77</b>	<b>10,03</b>
27,65	92,94	54,85	91,7	83,93	<b>595,45</b>	<b>9,21</b>
27,45	91,67	56,13	64,7	59,4	<b>420,55</b>	<b>8,87</b>
27,38	91,95	56,39	72,6	66,57	<b>468,91</b>	<b>9,06</b>
27,54	93,34	57,57	80,0	70,74	<b>478,01</b>	<b>13,05</b>
27,53	91,56	55,63	72,5	65,29	<b>465,61</b>	<b>11,03</b>
27,16	90,46	54,8	82,9	74,9	<b>556,31</b>	<b>10,67</b>
27,96	92,68	54,29	58,74	53,95	<b>383,49</b>	<b>8,88</b>
27,56	92,62	56,77	63,66	57,85	<b>399,21</b>	<b>10,04</b>

**2. Kyllästyksen jälkeen**

L-Paino (g)	Pituus kat. jälk (mm)	näytepalan jälk.(g)		Paino (g)	<b>Ka. Jäämä(g/kg)</b>
5316	2893	4718		77,3	<b>9,405</b>
5086	3327	4312		66,92	<b>9,405</b>
6019	3412	5427		85,16	<b>9,405</b>
5372	3513	4869		72,5	<b>9,405</b>
5890	3346	5406		83,28	<b>9,405</b>
6387	3277	5405		95,64	<b>9,405</b>
6034	3253	5167		78,21	<b>9,405</b>
5908	3483	5283		76,86	<b>9,405</b>
4906	3504	4431		64,46	<b>9,405</b>
6237	3591	5733		86,55	<b>9,405</b>
5574	3443	5125		84,25	<b>9,405</b>
6313	3512	5841		82,75	<b>9,405</b>
5921	3512	5360		79,5	<b>9,405</b>
5912	3590	5470		74,42	<b>9,405</b>
5598	3479	5120		73,96	<b>9,405</b>
5730	3350	5232		83,72	<b>9,405</b>
6235	3437	5511		75,49	<b>9,405</b>
6714	3592	6169		91,47	<b>9,405</b>

**3. Vakuumi kuivauksen jälkeen**

L-Paino (g)	Pituus kat. jälk (mm)	näytepalan jälk.		Paino (g)	Ka. Jäämä(g/kg)		
4673	2610	4236		83,97	<b>8,38</b>		
4283	3040	3917		66,68	<b>8,38</b>		
5410	3123	4972		82,69	<b>8,38</b>		
4832	3212	4387		65,54	<b>8,38</b>		
5385	3054	4905		85,69	<b>8,38</b>		
5374	2851	4696		79,86	<b>8,38</b>		
5115	2969	4667		83,53	<b>8,38</b>		
5199	3120	4650		76,1	<b>8,38</b>		
4397	3211	4028		64,57	<b>8,38</b>		
5685	3087	4892		79,22	<b>8,38</b>		
5092	3156	4688		75,32	<b>8,38</b>		
5762	3230	5300		89,37	<b>8,38</b>		
5341	3228	4920		80	<b>8,38</b>		
5400	3247	4921		69,47	<b>8,38</b>		
5076	3197	4667		81,25	<b>8,38</b>		
5178	2972	4573		89,55	<b>8,38</b>		
5463	3038	4830		83,25	<b>8,38</b>		
6119	3250	5514		90,48	<b>8,38</b>		
4975	3000	4568		77,69	<b>8,38</b>		
4893	3090	4498		69,21	<b>8,38</b>		

4.1 Ennen sääkaappikoetta						
KOE	Paino (g)		Paino (g)	Ka. Jäämä(g/kg)		
6,1	1115,69		82,53	9,39		
6,2	864,76		66,52	9,39		
6,4	896,88		73,75	9,39		
6,7	1083,64		83,5	9,39		
6,8	955,62		72,72	9,39		
6,9	831,27		63,22	9,39		
6,11	998,38		72,12	9,39		
6,16	1004,69		75,23	9,39		
6,17	1031,05		77,47	9,39		
6,18	1089,25		83,47	9,39		

**Kosteus ja tiheysnäyte ennen sääkaappikoetta tasaannutuksen jälkeen**

Paksuus	Leveys	Pituus	M-Paino	K-paino	Tiheys	Kosteus	
(mm)	(mm)	(mm)	(g)	(g)	(Kg/m3)	(%)	L-Paino
28,17	93,28	54,78	81,21	71,21	<b>494,70</b>	<b>14,04</b>	1115,7
28,03	92,82	55,65	67,00	58,51	<b>404,11</b>	<b>14,51</b>	864,76
28,35	93,84	54,08	70,45	61,89	<b>430,17</b>	<b>13,83</b>	896,88
28,59	95,60	54,32	82,35	71,57	<b>482,06</b>	<b>15,06</b>	1083,6
28,23	94,10	54,81	70,79	60,94	<b>418,54</b>	<b>16,16</b>	955,62
28,00	93,66	53,96	63,12	55,30	<b>390,79</b>	<b>14,14</b>	831,27
27,88	93,00	54,39	71,81	62,94	<b>446,31</b>	<b>14,09</b>	998,38
27,95	94,13	54,70	74,56	65,34	<b>454,03</b>	<b>14,11</b>	1004,7
28,13	93,24	53,86	79,72	68,87	<b>487,52</b>	<b>15,75</b>	1031,1
27,78	93,18	53,62	81,60	70,50	<b>507,93</b>	<b>15,74</b>	1089,3

**4.2 Sääkaappikokeen jälkeen**

Laudan paino kokeen aikana (g)				Näytepala	
1 vrk. (g)	8 vrk. (g)	15 vrk. (g)	Paino tas. Jälk. (g)	Ka. Jäämä(g/kg)	
1043,66	999,23	988,40	1014,10	<b>8,301</b>	
796,26	768,91	763,08	799,13	<b>8,301</b>	
834,1	800,98	796,26	831,06	<b>8,301</b>	
1007,79	964,02	955,43	979,82	<b>8,301</b>	
875,17	834,82	825,76	861,39	<b>8,301</b>	
769,75	740,87	735,28	738,26	<b>8,301</b>	
929,13	886,99	884,51	932,24	<b>8,301</b>	
921,05	881,66	875,10	913,90	<b>8,301</b>	
954,56	911,44	902,80	931,05	<b>8,301</b>	
1012,52	964,9	954,72	981,76	<b>8,301</b>	



	Näytepalojen sisältämä booripitoisuus				
	Vaihe	Boori	paino	ka. BAE	
		(g/kg)	(g)	%	
	1. Ennen kyllästystä				
	2. Kyllästyksen jälkeen	9,405	53,79	5,38	
	3. Kuivauksen jälkeen	8,38	47,93	4,79	
	4. Enne sääkaappikoetta	9,39	53,71	5,37	
	5.Sääkaappikokeen jälkeen	8,301	47,48	4,75	
		Moolimassa			
	Boorin g/mol	10,81			
	Boorihapon g/mol	61,83			
	BAE arvo lasketaan kaavalla				
	boorihapon moolimassa/boorin moolimassa x booripitoisuus				

Ennen sääkaappikoetta otettu kuva kyllästetyistä laudoista.



Kuva 15. Ennen sääkaappia otettu kuva



Kuva 16. Vasenpuoli 3 vuorokauden jälkeen sääkaapissa



Kuva 17. Oikeapuoli 3 vuorokauden jälkeen sääkaapissa



Kuva 16. Vasenpuoli 10 vuorokauden jälkeen sääkaapissa





Kuva 17. Oikeapuoli 10 vuorokauden jälkeen sääkaapissa



Kuva 18. Koekappaleet 21 vuorokauden jälkeen sääkaapissa



Kuva 19. Oikeapuoli 21 vuorokauden jälkeen sääkaapissa



Kuva 20. Vasenpuoli 21 vuorokauden jälkeen sääkaapissa





Kuva 21. Sääkaapista pois otetut oikeanpuolen laudat: 21 vrk



Kuva 22. Sääkaapista pois otetut vasemmanpuolen laudat: 21 vrk